*Proceedings of the Maple Decline Seminar*

held in conjunction with

***Maplefest '87***

Grand Falls, New Brunswick
June 12, 1987

## INTRODUCTION

Maplefest '87, June 12 & 13, 1987, was the first international maple event organized in the province of New Brunswick. The two-day affair was jointly organized by the New Brunswick Department of Natural Resources and Energy Forest Extension Service and the New Brunswick Maple Producers Co-op Ltd.

In addition to the Seminar on Maple Decline, Maplefest '87 included an equipment exhibition, technical workshops on tapping, vacuum, and pipeline, the 5th. annual Provincial Maple Products Competition, Maple Olympics, and a banquet and dance.

Following are the complete texts of the three presentations given at the Seminar, as well as a summary prepared by Don O'Brien, New Brunswick provincial Maple Specialist.

Also included is a status report on sugar maple decline in New Brunswick, prepared by a federal and provincial government team who have been and continue to research the phenomenon here. This paper was not presented at Maplefest '87, but has been included to provide readers with the latest information on decline in New Brunswick.

Glen Blouin
Education Officer
Forest Extension Service

GB/ll

# MAPLE DECLINE SEMINAR - SUMMARY

Many hypotheses were presented, none are conclusive. The most logical hypothesis explaining maple dieback suggests a stressing of the tree for a period of time prior to secondary attacks by insects, fungi and/or environmental stresses, leading to branch dieback and possible mortality of the tree.

The first paper presented by, Mr. A.R.C. Jones gives the history of maple dieback in Québec and Ontario and outlines the implications of previous insect attacks and environmental stresses. Mr. Jones points out that the cumulative effect of a number of stress factors arriving at concurrent times is probably the triggering factor leading to maple dieback and final mortality of the tree.

The paper discusses major effects of air pollution using the Eurpeoan experience; also discussed are four main effects of air pollution and their possible combinational interactions.

Mr. Jones and his co-worker, Mr. W. Hendershot, have developed a "diagnostic" approach to analysze deficiencies in the soil-leaf interface. They believe their approach can save a sugarbush suffering from dieback. It must be pointed out that their work is on a research basis and will require more field assessment, however, this may be a practical way to keep the stand alive while the causes and effects of maple dieback are discovered and treated.

The second paper presented by Mr. Gilles Gagnon centers on the development of maple dieback in Québec and its relationship to dieback in other jurisdictions. The spread of the problem is documented and tabulated as well as its symptoms. A point of interest in the presentation is the fact that all hardwood species in an affected stand are showing dieback symptoms, not just sugar maple.

The paper points out that the only factor which could have caused the maple dieback problem is the detrimental effects caused by atmospheric pollution. The paper suggests that there are contributing causes of maple dieback other than air pollution, and that no one condition seems to be the causal agent. Various measures for the possible control of dieback are outlined, including a reduction or even an elimination of thinning, selection of high site quality stands for sugar maple sap production, and the possibility of fertilizing stands where justified.

The final paper by Mr. Dave McLaughlin outlines the extent of the maple dieback problem in Ontario. There is an indication that growth reductions have occurred in the past in various regions of Ontario. However, the last period of growth reduction is widespread and suggests an equally widespread environmental stress. A study initiated by the Ontario Ministry of the Environment in 1984 concluded that decline observed in 1984-85 in Central Ontario was incited by forest tent caterpillar defoliations in the mid 1970's. The same report identified other contributing agents including low spring temperatures, drought, tree age and root rot fungi. However, atmospheric pollutants are undoubtedly additional stresses. A number of actions are offered by Mr. McLaughlin in order to alleviate at least partially the effects of maple dieback. These include: (1) choose a good site for the establishment of a sugar bush; (2) maintain natural associations of tree species; (3) thin lightly and maintain optimum density; (4) minimize skidding and root disturbance; (5) restrict grazing; (6) fertilizing and liming may also have potential.

Don O'Brien
Maple Specialist
New Brunswick Department of Natural
Resources & Energy
Forest Extension Service

# THE MAPLE DECLINE PHENOMENON - ITS DEVELOPMENT AND SOME RECUPERATIVE MEASURES

A. R. C. Jones and W Hendershot

## Introduction

In the fall of 1982 widespread drying out and mortality of sugar maple (Acer saccharum Marsh) was observed in some sugar groves in southern Quebec. A team of specialists was organized by the Ministère de l'Energie et des Ressources (MER) at the request of Jean-Claude Mercier, Associate Deputy Minister, to investigate the extent of the malady and to determine its causes (Carrier 1986). The phenomenon appeared to be most heavily concentrated in Beauce County although the neighbouring counties of Megantic, Frontenac and Arthabaska also reported abnormal tree mortality. The Service de la protection contre les insectes et les maladies, MER have prepared reports on the malady (Gagnon et al 1985, and Robitaille et al 1984). In Quebec this maple problem is called dépérissement. In Ontario it was initially called dieback (Griffin, 1965) and the first documented report came from Grey County in 1952 (Lake Huron District Report, Ontario Lands and Forests). Symptoms associated with maple dieback in Ontario, at that time, were: (1) sparse foliage on trees with leaves often dwarfed and exhibiting interveinal necrosis; (2) marginal leaf browning followed by premature leaf fall; (3) premature fall colouration; and (4) death of young twigs followed by dieback of part or all of the crown. Dieback is limited to trees over 6 in. d.b.h. It progresses slowly and seldom causes mortality (Griffin, 1965). Over the years maple dieback has been observed at intervals in different parts of the country. A

more recent decline of sugar maple in Ontario has been described by McGauley (1983). It began in the Owen Sound District in 1976. By the fall of 1977, some trees had died and a Maple Decline Working Committee was established to determine a course of action to reduce the impact and determine the cause. The rapidity with which trees died was inconsistent with the symptomology of maple dieback so the condition was labelled maple decline. The decline condition spread over about 28,700 hectares with 16,200 hectares of maple affected in the Parry Sound district and 12,550 in the Owen Sound district. By 1980 the growth of the affected trees was still not as good as that in the adjacent unaffected areas, but most living trees showed good recovery (McGauley, 1983). Gross (1981) also reported on maple decline in Ontario and the total sugar maple forest affected (28,700 hectares). In about half of the area more than 25% of the sugar maple died.... "Most of this mortality occurred from 1977 through to the early part of 1978 growing season. The forest tent caterpillar Malacosoma disstria (Hbn) outbreak, active since 1974 collapsed in 1978 and since then the decline of maples has ceased".

In the spring of 1984 a number of maple producers in the Huntsville-Sundridge area, (Parry Sound district) complained about the health of their sugar maple trees and the possible relationship with acid precipitation. A survey was designed by the phytotoxicology section, Air Resources Branch of the Ontario Ministry of the Environment to study the etiology of maple decline and a fifteen point program was initiated in the spring of 1984 to investigate the role of acidic precipitation in this recent maple decline outbreak in Muskoka. The Ontario Ministries of Agriculture and Food and Natural Resources, and the Canadian Forestry Service are consulting with the Ministry of the Environment in this survey (McLaughlin et al 1985).

The problem has also been reported in parts of the northeastern States. In 1957 a sudden outbreak of a disease condition termed "blight" caused considerable mortality in maple stands in Florence County, Wisconsin (Skilling 1959). At about the same time extensive dying and decline of sugar maple was observed throughout the northeastern United States (Zabel et al 1958). More recently maple dieback, very similar to that in Ontario, 1957-1958 has been reported from Michigan (Kessler, 1963). The disease condition has been ascribed to several causal factors, including insect defoliation followed by fall frost and root infection (University of Wisconsin 1964), accumulation of soluble salts in the soil (Lacasse and Rich, 1964) and warming trends in the north temperate zone (Hepting, 1960) and drought.

The European Experience

Since that time there has been a more ominous development of the decline phenomenon, particularly in Europe, where extensive dying of trees initially labelled "high elevation spruce disease" took place in the mountains of Germany, Czechoslavakia and Poland. Intensive studies of this phenomenon by German scientists since the late 1970's have developped a number of hypotheses that have been outlined by Schutt and Cowling (1985) and others. In the 1980's German scientists have demonstrated that tree damage has resulted, in part, from nutrient deficiency caused by sulfuric and nitric acids, resulting from acid deposition leaching nutrients from the soil. The specific deficiency that occurs will depend on the nature of the soil. Zottl and Huttl (1986) have demonstrated that calcium, magnesium and potassium deficiencies occur on acidic soils derived from granite (Tomlinson, 1987). These deficiencies result from strong cation imbalances which develop in the soil. Trees on

glaciated soils are now showing potassium deficiency. These soils are calcareous in nature and, depending on their pH, the high calcium content of such soils causes potassium deficiency to occur, with the result that a calcium-potassium antagonism results so that one or the other elements cannot be obtained by the tree. Zottl and Huttl (1986) found that diagnostic fertilization of trees with these deficiencies could be successfully revived by adding the missing nutrients to the soil in sufficient quantity to eliminate the imbalance between calcium and potassium. Because of the success of these experiments, and others, the German state of Baden-Wurttemburg will spend $100 million for fertilization and replanting over the next five years adding the specific nutrients as indicated by foliage analyses. It is recognized that this is a holding operation since, unless and until acid deposition is drastically reduced, leaching of nutrients will continue and deficiency symptoms can reappear after three to five years. The glaciated soils of northern New York State and Quebec are also known to be low in potassium as reported by Tomlinson (1987) and Stone and Leaf (1967).

Southern Quebec - A Disaster in the Making

To turn to the Quebec situation, most producers are only in their sugarbushes when tapping, collecting sap or removing non-maple species. With few exceptions the rest of the time the sugar bush is left to fend for itself without much attention to improving the spacing of producing trees and removal of defective, diseased or competing species. In many cases the sugar place is also used as a low forage pasture. Until 1982 the maple resource in Quebec had managed to survive this neglect and lack of management without obvious difficulty.

The situation is now changing and serious concern is being expressed for the longterm future of this valuable forest. The maple decline phenomenon appears to be most heavily concentrated in Beauce although other counties have also been affected (Megantic, Frontenac, Arthabaska and Wolfe). In this region the maple has traditionally been a vital enterprise to many farmers because of the marginal nature of the region for intensive forms of arable agriculture. Maple stands have been subjected to long term exploitation for sap production, widespread pasturing of livestock and the systematic removal of non-maple species. Sugar maple is known to be sensitive to acid rain and air pollution (Percy, 1983). These are frequent stresses for any vigourous, healthy maple stand. In the case of the species in Beauce and neighbouring counties, near the edge of its botanical limits, the maple forest is classed as a sugar maple-yellow birch association (Grandtner, 1966) which is found only in the colder regions of the province. Since 1978 to 1982 sugar maple in this area has also been subjected to massive and sustained outbreaks of the forest tent caterpillar which first defoliates the aspen tree species, following which it attacks sugar maple once the primary host has been eaten. The Centre de Recherches Forestières des Laurentides (CRFL) and Le service d'entomologie et de pathologie du Ministère de l'Energie et des Ressources (MER), which conducts annual surveys of insect and disease problems in the province, reported that in 1978 there was a severe outbreak of forest tent caterpillar in southern Quebec and aspen, birch and sugar maple were all being attacked (Lachance et al, 1980). In 1979 a light to severe defoliation was reported by CRFL/MER (Lachance et al, 1980) in southern Quebec and from egg mass counts forecasts for 1980 were that a marked increase in defoliation would occur in Frontenac and the Beauce covering an area of 1500 square

kilometres, and that serious losses in certain sugar bushes in the region were expected. The outbreak did occur with CRFL/MER (Lachance et al, 1981) reporting up to 75% of sugar bushes defoliated in the Beauce, Megantic and Frontenac. Furthermore, the length, severity and extent of this outbreak was far above past experience with the expectation that 1981 would see a continuation of the defoliation. The devastated sugar bushes of the region were exposed to a further hazard in the form of a June frost that severely damaged maple in early leaf above 500 metres in altitude in all the Appalachian regions. One hundred percent of the trees and 75 to 100% of the maple foliage was affected in a total area of 1300 $km^2$ between Lake Memphremagog and Montmagny. Severe maple damage to over 130,000 hectares was reported. Killing of the new leaf at this stage is similar to a complete defoliation and the tree must draw on its reserves to produce another set of leaves. In 1980 the new leaves that developed after this late spring frost were eaten by the forest tent caterpillar which reached epidemic proportions in southern Quebec. With defoliation frequency rising from 6 to 80% for the total area of Quebec, up to 75% of Beauce sugar bushes were defoliated so that in this year the maple trees were subjected to two widespread attacks and mortality of trees must have commenced. Fall forecasts of the Beauce, Frontenac and Wolfe regions for '81 estimated complete defoliation of those sugar bushes adjoining aspen stands. This forecast was confirmed in 1981 and 250,000 hectares of sugar maple was attacked with Beauce, Megantic and Frontenac having 125,000 hectares of sugar maple severely defoliated. Maple in Nicolet, Drummondville and Sherbrooke to Lotbinière was also severely affected (Benoit et al, 1982). As if these hammer blows to the survival of the maple resource were not enough 1981 also saw the arrival in southern Quebec of the Bruce spanworm,

(Operophtera bruceata Huist), another defoliator, with maple being the primary host. An unseasonal February thaw in 1981 devastated many apple orchards in the province and further provoked unusual stress on sugar and silver maple, causing lesions to roots, branches and trunks which can lead to the death of the tree (Benoit et al, 1982). The species was by now severely debilitated by this succession of disasters. A 1982 forecast suggested that the Beauce region would again be heavily attacked by the tent caterpillar. In the 1982 survey, Benoit et al (1983) reported that damage to sugar maple in Beauce and neighbouring counties ranged from light to severe, particularly in a band 10 to 20 km wide from Lac Megantic to St. Louis de Gonzague along the Quebec-Maine border. This is the first year that dieback of maple was reported as a separate phenomenon from forest tent caterpillar defoliation. Benoit et al (1983), reported various regions with unusual mortality of maple. Predisposing factors could be air pollution, aging of stands, poor drainage and/or droughty sites and inadequate nutrition. Contributing factors such as disease and root rot, and insect attacks due to weakened trees or inciting short term factors, such as tent caterpillars, other insects, and the pronounced climatic extremes, such as the late spring frost and the lack of snow during the 1980 and 1981 winters have all contributed to seriously weakening the trees. Past experience of tent caterpillar outbreaks is that it is not usually the prime cause of the death of maples, however, other factors are involved, certainly air pollution and acid rain are strong suspects. The cumulative effects of all these coincidental effects could be a major factor in triggering the excessive mortality now being experienced.

A group of experts began a study of the Quebec phenomenon in the fall of 1982 and work has been continued to the present. An MER aerial survey of the

Chaudière and Etchemin River watersheds showed maple mortality at 10 to 15%. Study sites have been established to precisely map the extent of the damage and confirm the hypothesis that heavy defoliation was a prime cause of the extensive dying of trees. In 1983 the tent caterpillar population finally crashed but the Bruce spanworm was abundant in the devastated region and surviving maple stands were again defoliated by as much as 50% to continue the pressure on this hard pressed species (Lachance et al, 1984). Since that time helicopter surveys have been done in 1984, 1985 and most recently in 1986. These have been reporting steady increases in the dieback of maple (Lachance et al, 1985). Furthermore ground studies noted the radial growth of trees affected by decline had diminished by 39% on average for the past five years as compared to growth for the previous twenty years. The soil pH was low, varying from 3.2 to 4.8 on declining sites, and soils appeared to have a cation imbalance. A pathology survey found that shoe string root rot (Armillaria mellea Vohl ex Fr.) (Kummer) in trees more that 51% defoliated are significantly infected by this pathogen. It does not appear to be responsible for initiating the decline phenomenon (Bonneau et al, 1986). Robitaille et al (1986) indicate that there is no evidence of diseases or insects initiating the current forest decline in Quebec. No strong correlation between forest tent caterpillar defoliation in the early 1980's, and sugar maple decline incidence south of the St. Lawrence River was observed. No insect outbreaks are known to be involved in any forest declines that are occurring north of the St. Lawrence River. Other pathogen correlates should be sought before excluding insects or disease as causal agents. However, forest decline in Quebec is extensive geographically and involves numerous species, both deciduous and coniferous. Since the pathogen is unlikely to have affected all tree species

on all sites simultaneously, an atmospheric or climatic stress is probable. An increase in the incidence of tree dieback in southern Quebec was observed in 95% of sample plots over a three year interval (1983-1985). Virtually all maple forest types showed increased incidence and severity as did different maple sub-regions in southern Quebec. The greatest increase was in the Thetford Mines region, which increased from 40% to 80% average incidence between 1983 and 1985. The study was based on 130 study plots. Continued emphasis on vegetation monitoring is justified until the incidence of decline stabilizes. Soils over the maple forest region in southern Quebec have greatly deteriorated. On the study plots humus mineralization was slow and low levels of exchangeable cations, such as calcium, magnesium and potassium were noted.

Maple Losses in Quebec

The serious consequences of maple decline have been quantified by the studies and research service of the Union des producteurs agricole (UPA) who estimate 2,000,000 tapholes lost (about 15% of Quebec tapholes) since the dieback was first reported in 1982. The UPA places the financial loss to producers to be in the order of $87.6 million (Menard, 1985). This sum does not include the lower production now reported from still living trees, the 1987 season being a case in point, the cost of salvaging the dead trees from devastated sugar bushes, and the loss of a major source of income to many landowners in the hardest hit regions where alternative enterprises are not available (*Terre de Chez Nous*, March 6, 1986). During the late summer of 1985, 25,000 sq. km. were surveyed, maple stands having 11% or greater foliage loss were estimated to cover 40% of the area surveyed. In 1983 the figure was

29% (Carrier et Gagnon 1985). This amount of damage was greater than the previous surveys and dead trees were recorded in 60% of the stands affected by dieback. Few maple forests were free of some damage (Bordeleau 1986). The 1983 and 1985 damage maps of the Lac Megantic area show the condition of maple trees in the most affected region over the past three years (see map). It should also be noted that the areas most strongly affected receive more wet acid sulphate deposition (>40 kg/ha/yr) than any other part of the province (Rennie, 1987). Other deciduous trees are also being attacked, and, for the first time, conifers have begun to show decline symptoms similar to those described in Europe (Bordeleau, 1986). The most recent aerial survey covered the maple areas north of the St. Lawrence River during the summer of 1986. This has resulted in further expansion of the damaged area. Nearly 60% of the area surveyed in 1986 was considered in a healthy state. Light damage was observed on 35% of the area and moderate to severe damage was found on 4.2% to 0.9% of the area affected. The survey on the north shore of the St. Lawrence found principally light damage. The damage extends from St. Jovite to Quebec (Bordeleau, 1986). Maple dieback is spreading across the province, moving outward from the most seriously affected to other regions. Air pollution and acid rain are strongly implicated. The fact that the hardest hit region receives the heaviest sulphate pollution load can hardly be a coincidence. The devastating long term effects of acid rain on soil nutrients and pH have been well documented at Duchenay experimental forest by Gagnon et al 1985. The impact of recent severe changes in soil nutrition and lowered pH have an additive effect on all the usual stresses now affecting maple trees. The most severe dieback in Quebec has initially been identified on the poorest, or wettest sites in the maple communities that are at the edge of the

1985 AERIAL SURVEY

1983 AERIAL SURVEY

The two maps of the same area around Lac Megantic flown 2 years apart show (dark areas) changes in maple stands defoliated by 11% or more. Hatched areas indicate tree mortality observed in 1985.

maple range. In these locations the species is at its ecological extreme where trees are already considerably stressed by climatic and soil factors. Any other stress, such as poor management, severe defoliation or air pollution will quickly speed their demise. On the richer sites the maple communities are healthier, more vigourous and better able to resist these cumulative stresses, but even these associations will eventually succumb if an individual stress such as acid rain continues to drain the soil of the nutrients essential to tree growth and to impact the trees in other ways. As the 1986 aerial survey indicates the damage is spreading out from the poorer to the better sites and all maple associations are now at risk. North American forest declines started in the period between 1950 and 1960 (Klein and Klein, 1985). Unless drastic reductions in atmospheric pollution and other corrective measures, such as fertilization, are not taken, this plague-like phenomenon sweeping maple country threatens the resource with extinction. Already there have been grave financial losses and hardships as many producers have lost a major source of livelihood. There is little doubt that if present trends continue there will be few healthy maple bushes left at the end of the next decade.

Major Effects of Air Pollution

There are four major processes related to air pollution effects on trees. These effects can impact the tree in several ways. First (1) air pollution causes changes in soil chemistry which damages organisms at the root/soil interface. Klein and Klein (1986) mention the loss of mycorrhizae as has Hutchinson (see Cook, 1986), as well as some European scientists (Baule, 1984), that affects phosphorus uptake. Heavy nitrate inputs can damage

these organisms which are beneficial to root systems and help them feed more efficiently. Secondly air pollution and acid rain have (2) increased soil acidification which solubilizes aluminium. The increase in soil acidity causes aluminium to come out of solution and to attack the tree's root system. Aluminium is toxic to the fine roots of many trees (as shown by Hutchinson, 1985; Belanger and Hendershot, 1986) as well as blocking the uptake or replacing important nutrients such as potassium, calcium and magnesium. Hendershot, 1986 has modeled this aluminium solubility phenomenon with decreasing soil pH. A third concept, well-known to many scientists, is (3) susceptible or weakened trees are very quickly attacked by the many agencies that normally kill trees. Air pollution damage works similarly to prolonged drought, insect defoliation, disease and other damaging agents that precipitate the decline spiral documented by Manion (1981). Fourthly (4) increased acidity of rainfall causes leaching of calcium, magnesium and potassium, in particular, from the soil and tree's nutrient regimes. These elements are essential to tree growth and the long-term health of any forest tree. The European experience has been that depending on the soil and the geology of the region certain specific elements are being selectively leached from the forest ecosystem (Zottl and Huttl, 1986). By replacing these elements through appropriate diagnostic fertilization recovery has been effected. The above four processes all in fact occurring at different degrees, at different rates, in some cases acting synergistically, sometimes antagonistically, and sometimes in unknown ways, depending on soil and geology, the tree is being selectively wasted of vital nutrients.

Weakened trees can be fertilized using a "diagnostic" approach in which the missing elements, as diagnosed by leaf and soil analyses, are replaced by liming and fertilization. Hendershot et al (1987) describe this process.

Fertilization is a practical tool to mitigate forest decline when it is related to an insufficient or poor nutritional status. It is not by any means a cure to the decline phenomenon but it can help to reduce the impact that air pollution is having on forests by revitalizing stands, improving soil nutrition and helping to keep trees alive until a better, more long-term solution to air pollution and acid rain is worked out. But time is running out and trees that are more than 50% defoliated are too far gone to respond to a diagnostic fertilization treatment, so immediate action is necessary if we expect to save the maple resource.

## The Need for Action

Based on research by competent authorities fertilization is the one palliative measure that offers the best possibility for a quick, but temporary fix for a forest resource severely impacted by air pollution. These measures involve replacing elements that are strongly leached from the soil horizon and from the leaves of the trees by the air pollution-acid rain phenomenon. Although no conclusive evidence is yet available that these methods will completely recover the maple resource, the European experience with diagnostic fertilization has been most encouraging. Fertilization appears to be the best approach to alleviate the maple decline phenomenon on a short-term basis.

## References

Baule, H. 1984. Zusammenhange zwischen Nahrstoffversorgung und Walderkrankungen. Allg.Forstz.39:775-778.

Belanger, C.R. and W. Hendershot. 1986. The effect of Ca:Al ratio on sugar maple trees grown in solution culture. Macdonald College. Unpub. MS. p.28.

Benoit, P., G. Laflamme, G. Bonneau et R. Picher. 1982. Insectes et maladies des arbres Québec - 1981. Supplément Forêt Conservation Vol 48(10):7.

Benoit, P., G. Laflamme, G. Bonneau et R. Picher. 1983. Insectes et maladies des arbres Québec - 1982. Supplement Forêt Conservation Vol 49(10):7, 17-18.

Bonneau, G. R. Picher, D. Lachance. 1986. Insectes et maladies des arbres Québec - 1985. Supplement Forêt Conservation, Vol 52(10):7-8.

Bordeleau, C. 1985. Evaluation of sugar maple dieback in Quebec. Service de protection contre les insectes et les maladies, M.E.R. Paper presented at Northeastern Forest Pest Control Council Conference, Albany, N.Y.

Bordeleau, C. 1986. La carte des relevés Airiens du dépérissement des érablières au Québec en 1985 et 1986. Mimeo.

Carrier, L. et G. Gagnon. 1985. Maple dieback in Quebec. Service de la Recherche Appliquée, Min. de l'Energie et des Ressources.

Carrier, Leon. 1986. Decline in Quebec's Forests: Assessment of the Situation. Service de la Recherche Appliquée, Direction de la Recherche et du Développement, Ministère de l'Energie et des ressources. Quebec. p.30.

Cook, G. 1986. Maples could go the way of Elms. Univ. of Toronto Bulletin. Sept. 29, 1986.

Gagnon, G., L. Robitaille, G. Roy and C. Gravel. 1985. Le dépérissement des érablières: comportement de certaines variables écologiques. La Terre de Chez Nous (dossier). Vol.3, No.5, 28 mars, 1985.

Grandtner, M.M. 1966. La végétation du Québec Méridional. Les Presses de l'Université Laval, Québec.

Griffin, H.D. 1965. Maple Dieback in Ontario. For. Chron. 41:295-300.

Gross, H.L. 1981. Maple Decline. Annual Report. Forest Insect and Disease Survey, CFS. Environment Canada.

Hendershot, W. 1986. Forest Decline: The changes taking place in soils. Unpub. MS presented at Wakefield, Que. conference, Nov. 1986.

Hendershot, W., H. Lalonde and A.R.C. Jones. 1987. Soil Acidification, Base Cation Leaching and Maple Decline. Unpub. MS.

Hepting, G.H. 1960. Climate change and forest diseases. Fifth World Forestry Congress, Seattle, Wash., Aug.-Sept., 1960.

Hutchinson, T.C. 1985. A comparative study of the toxicity of aluminium to seedlings of five coniferous species. Report for the Canadian Forestry Service.

Kessler, K.J., Jr. 1963. Dieback of sugar maple, Upper Michigan - 1962. Research Note LS-13, Lake States For. Exp. Sta., U.S.D.A. p.2.

Klein, D.T. and R.M. Klein. 1987. Tree Dieback: The Growing Case Against Acid Rain. Garden V9(2):22-27.

Lacasse, N.L. and A.E. Rich. 1964. Maple decline in New Hampshire. Phytopathology 54(9):1071-1075.

Lachance, D., P. Benoit, G. Bonneau et G. Laflamme. 1980. Insectes et maladies des arbres Québec - 1979. Supplement Forêt Conservation Vol 46(10):7-8.

Lachance, D., P. Benoit, G. Bonneau et G. Laflamme. 1981. Insectes et maladies des arbres Québec - 1980. Supplement Forêt Conservation Vol 47(9):5-7.

Lachance, D., P. Benoit, G. Laflamme, G. Bonneau, R. Picher. 1984. Insectes et maladies des arbres Québec - 1983. Supplement Forêt Conservation Vol 50(10):15-17.

Lachance, D., P. Benoit, G. Laflamme, G. Bonneau, R. Picher. 1985. Insectes et maladies des arbres Québec - 1984. Supplement Foŕt Conservation Vol 51(10:6-7.

Manion, P.D. 1981. Tree Disease Concepts. Prentice-Hall, Inc., New Jersey.

Ménard, L. 1985. Evaluation des pertes encourues par les producteurs de sucre et de sirop d'érable au Québec à l'automne '85. Service d'études et de recherche. L'Union des Producteurs Agricoles. Rapport interne, 21 p.

McGauley, B.H. 1983. Maple Decline in Ontario. Briefing Note, Pest Control Section, Forest Resources Branch, Ministry of Natural Resources, Maple, Ont.

McLaughlin, D.L., S.N. Linzon, D.E. Dimma and W.D. McIlveen. 1985. Sugar Maple Decline in Ontario. Report No. ARB-144-85-Phyto A.P.I.O.S. #026/85. Ontario Ministry of the Environment. Sept. p.18.

Percy, K.E. 1983. Sensitivity of eastern Canadian forest tree species to simulated acid precipitation. In Proc. 12th International mtg. specialists in air pollution damages in forests, IUFRO Sect. 2.09, Oulu, Finland, Aquilo Series B, 19:41-49.

Rennie, P.J. 1987. The Significance of Air Pollution to Forest Decline in Canada. In Workshop Proc. *Forest Decline and Reproduction*. International Institute for Applied Systems Analysis, IIASA, Laxenburg, Austria.

Robitaille, L., G. Roy et R.Picher. 1984. Erablières: Resulats préliminaires sur les causes du dépérissement. La Terre de Chez Nous, 20 Sept. 1984.

Robitaille, L., G. Gagnon, D. Lachance. 1986. Forest Decline Workshop. LRTAP Workshop #6. Federal LRTAP Liaison Office, Atomspheric Environment Service. Proc. of Conference, Wakefield, P.Q. Oct. 20-22, 1986, p. 38.

Schutt, P. and E.B. Cowling. 1985. Waldsterben, a general decline of forests in Central Europe: symptoms, development and possible causes. Plant Disease, 69:548-558.

Skilling, D. 1959. Maple blight: A new fight. Amer.For. 65(5):20-21, 53-55.

Stone, E.L. and A.L. Leaf. 1967. Potassium Deficiency and Response in Young Conifer Forests in North America. Forest Fertilization Procs. of the Fifth Colloquiam, International Potash Inst. Bern, Switzerland.

University of Wisconsin. 1964. Studies of maple blight. Research Bull. 250:p. 128.

Tomlinson, G. 1987. Nutrient Deficiency and Forest Decline. Pulp and Paper Canada 88(2):43-48.

Zabel, R.A., S.B. Silverborg, and M.E. Fowler, 1958. A survey of forest tree diseases in the northeast. Sta.Paper 110, Northeast For.Exp.Sta., U.S.D.A.

Zottl, H. and R. Huttl. 1986. Nutrient Supply and Forest Decline. Water, Air and Stream Pollution 31:449-462.

27.05.87

# RESEARCH ON DECLINE IN MAPLE STANDS IN QUEBEC:

# OVERVIEW OF OUR WORK

G. Gagnon, F. Eng., M.Sc.
Research and Development Branch
Department of Energy and Resources [1]

## Introduction

Forest decline is not a new phenomenon. In high altitude forests in the States of New York, Vermont, and New Hampshire, red spruce (Picea rubens Sarg.) have been affected by dieback since 1960 (Siccama et al. 1982). The white birch (Betula papyrifera Marsh.) and yellow birch (B. alleghaniensis Britton) throughout Eastern North America had problems from the end of the 1930's until the end of the 1950's (Clark, 1961; Pomerleau, 1944). As concerns the sugar maple (Acer saccharum Marsh.), various cases were pointed out in North America between 1960 and 1979 (Griffin, 1965; Lacasse & Rich, 1964; Rich & Walton, 1979). In Québec, it seems that a single case of dieback was reported previously in the Appalachians (Pomerleau, 1944). In Europe, the situation is serious. In West Germany in particular, the affected area in 1984 was approximately 3.7 million hectares, or half of the forested area in the country. The Norway spruce (Picea abies (L.) Karst.) and the silver fir (Abies alba Mill.) are the main victims (van Doren, 1986; Bouvarel, 1984).

---

[1] Text presented at the annual Maplefest meeting in Grand Falls, New Brunswick, June 12 and 13, 1987.

The dieback phenomenon, which is currently ravaging sugar bushes in Northeastern North America, was noticed in Québec in 1978. It was maple producers who first demonstrated their concern after observing that maples were drying up without any apparent reason in their groves. In the summer of 1981, the phenomenon became much worse, and in 1982 dieback made a violent appearance over a large area in the Appalachians, i.e., about 4,500 $km^2$ or 19 per cent of the total area of maple groves. Then, from 1983 to 1986, the area grew until it included all of the stands in Québec, about 24,000 $km^2$ (Lachance, 1985; Gagnon et al., 1986; Bordeleau, 1986; Carrier, 1986).

Action taken

In the fall of 1982, at the request of the Associate Deputy Minister (Forests), researchers from the Department of Energy and Resources of Québec, in cooperation with researchers at the Centre de recherches forestières des Laurentides, Laval University, and the Department of Agriculture, Fisheries, and Food of Québec formed a working group and developed a plan of action. This plan consisted in proposing surveys and a research program for the purpose of:

- determining the extent of the phenomenon,
- discovering the causes of the decline, and
- finding methods of combatting or reducing its effects.

With regard to surveys, the Department of Agriculture, Fisheries and Food conducted an investigation by mail in December 1982 of 7,000 maple producers to find out the condition of their sugar bushes. Two thousand producers replied to this survey. In the summer of 1983, the Centre de foresterie des

Laurentides undertook an intensive survey in 257 maple stands divided over the total maple distribution area in Québec, in order to find out the geographical distribution and the intensity of the dieback (Lachance, 1985).

Since 1983, the Service de protection contre les insectes (Insect and disease protection service) of the Department of Energy and Resources has been carrying out aerial surveys by helicopter to determine the extent of the dieback in sugar bushes in a large portion of the hardwood forest in Québec.

The map "Decline in sugar bushes - Overview 1985 and 1986" presents the results of aerial surveys conducted in 1985 and 1986. The state of the dieback in the sectors over which the inventory was taken can be visualized using this map, owing to a colour code corresponding with four classes of decline (based on the proportion of foliage missing in the crown of the trees).

Thus, the green zones correspond with the zones of sugar bushes that are healthy or affected very little (10 per cent or less of foliage missing). Yellow identifies the zones in which the decline is slight (from 11 per cent to 25 per cent of foliage missing), and the red shows high levels of dieback (over 50 per cent of foliage missing). In addition, the vertical lines point out the presence of dead trees in the stands.

The aerial survey carried out in 1985 shows that the level of decline is particularly great in the counties of Beauce, Frontenac, Wolfe, Mégantic, and Arthabaska. The territory affected the most by the phenomenon is in a triangle bordered by the municipalities of Victoriaville, Saint-Joseph-de-Beauce, and Lake Mégantic. The damage is still considerable along the periphery, but gradually decreases toward the Eastern and Western

boundaries of the land surveyed. Nearly 60 per cent of the area of the sugar bushes surveyed that year can be considered in a "healthy or little affected" condition. "Slight" damage is observed on 35.4 per cent of the area, whereas moderate and heavy damage are found on 4.2 and 0.9 per cent of the surface area respectively.

The aerial survey carried out in 1986 on the North shore of the St. Lawrence shows basically slight but widespread dieback: the damage is distributed throughout the territory from Saint Jovite to Québec City. The extent of the decline is similar in each of the regions surveyed (Québec City, Trois-Rivières, and Montréal regions): the levels of "healthy or little affected" and "slight" account for about 35 and 60 per cent of each of these regions respectively. However, in the Québec City region there is a slightly higher proportion of "moderate" damage. The counties of Portneuf and Lotbinière are the areas most affected by dieback. In the regions of Montréal and Trois-Rivières, larger damage zones were noticed around Mont Tremblant and Saint-Donat-de-Montcalm, to the Southwest of Arundel, and along the periphery of Grandes-Piles. In the Lower Saint Lawrence - Gaspé region, the decline phenomenon, although present, is less widespread, since almost 81% of the sugar bush area falls into the "healthy or little affected" classification. The areas with a moderate to high intensity of dieback are located mainly between Trois-Pistoles and Saint Fabien, as well as to the Southeast of Lake Témiscouata. In the surveyed zone as a whole, slight, moderate, and heavy damage were found over 52.4, 3.7, and 0.3 per cent of the surface area. Almost 44% of the surface area fits into the "healthy or little affected" category (Bordeleau, 1987).

In the area of research, our commitment goes back to the spring of 1983. The initial program provided for research on the food cycle of elements, on the pathogenic agents which are involved in the phenomenon, and on the influence of different ecological variables liable to set off or contribute to decline.

It is on this last subject, i.e., the influence of different ecological variables on the development of dieback, that the group of researchers from the Department of Energy and Resources has concentrated its activities. We wanted to find out the roles that might have been played by epidemics of forest tent caterpillars (Malacosoma disstria Hbn.) which broke out in the forest, the thaw of 1981, and the lack of precipitation in the spring of 1982. We also wanted to find out the effect of the various types of forestry work done in the sugar bushes, i.e., methods of tapping, the cutting of companion species, thinning, and pasturage of domestic animals. We consider that it was also important to find out the influence of the diverse variables in the environment, such as the water balance of the soil, the depth of deposits, slope, exposure, nutrient content, etc., always in relation to the various degrees of dieback and its evolution.

Symptoms of decline

In order to evaluate the extent of the decline, it was necessary first of all to scrutinize the various phases of the phenomenon. Our first observation was to realize that decline is an insidious phenomenon. In fact, you must be on the lookout in order to detect trees that are slightly affected. Each year, the forest looks a little worse, but you get used to it and it seems normal for trees to be drying up along roads over which vehicles can travel and around the sugar house.

The mechanism of decline brings with it symptoms unique to this phenomenon, which differentiate it from other abiotic and biotic diseases. Decline is characterized by the following symptoms:

- unfolding of smaller and paler leaves;

- dying of twigs surrounding the crown, and then of branchlets and main branches. This symptom always develops from the outside of the crown inward. At a very advanced stage, the penetration of the sun on the trunk of the tree causes the opening up of adventitious buds, and gives the declining tree the shape of a "crow's nest";

- a slowing down in the growth of the tertiary branches which becomes apparent through the grouping together of leaves in the form of more or less isolated packages. This slowdown in growth is also evidenced by a reduction in the speed at which the tapholes scar, and in the rate of growth in diameter;

- premature fall colouration visible as soon as the end of August;

- loosening of bark, initially on the branchlets, then on the main branches, and finally on the trunk of dying or dead trees;

- presence of chlorotic and necrotic leaves.

These symptoms are very similar for all hardwoods affected by this disease.

## Methodology

In order to analyze the part played by the different ecological variables in the decline phenomenon, and to check the original hypotheses, we have established 243 semipermanent study plots since 1983. The majority of these study plots were chosen as a result of the mail survey conducted by the Department of Agriculture, Fisheries and Food in the fall of 1982, and the survey by "Les producteurs de sucre d'érable du Québec" cooperative society, conducted in the fall of 1984.

Each of these plots was the subject of a plant ecological study, i.e., maple stands were classified according to their ecological affinities. Thus, the trees, shrubs, and herbaceous plants were counted and evaluated. The type of soil in each environment was determined, and its nutritional content was analyzed. All the environmental conditions were measured and evaluated as well, i.e., slope, exposure, altitude, and the water balance. The dendrometric characteristics of the stand were measured in order to determine the age, number of stems per hectare, basal area, volume, and growth. After numbering all the trees in the study plot, their health was assessed in order to discover the degree of decline, and the diseases and insects affecting it. The epidemics affecting the stand for about ten years, and the main climatological accidents which occurred over this period were studied.

Also, in order to identify the influence of anthropic factors, an analysis was carried out on sugar bushes that were untapped, as well as those that were tapped, using pails and tubing, and utilizing the gravity, as well as the vacuum method. Pasturage and the cutting of companion species were also taken into account.

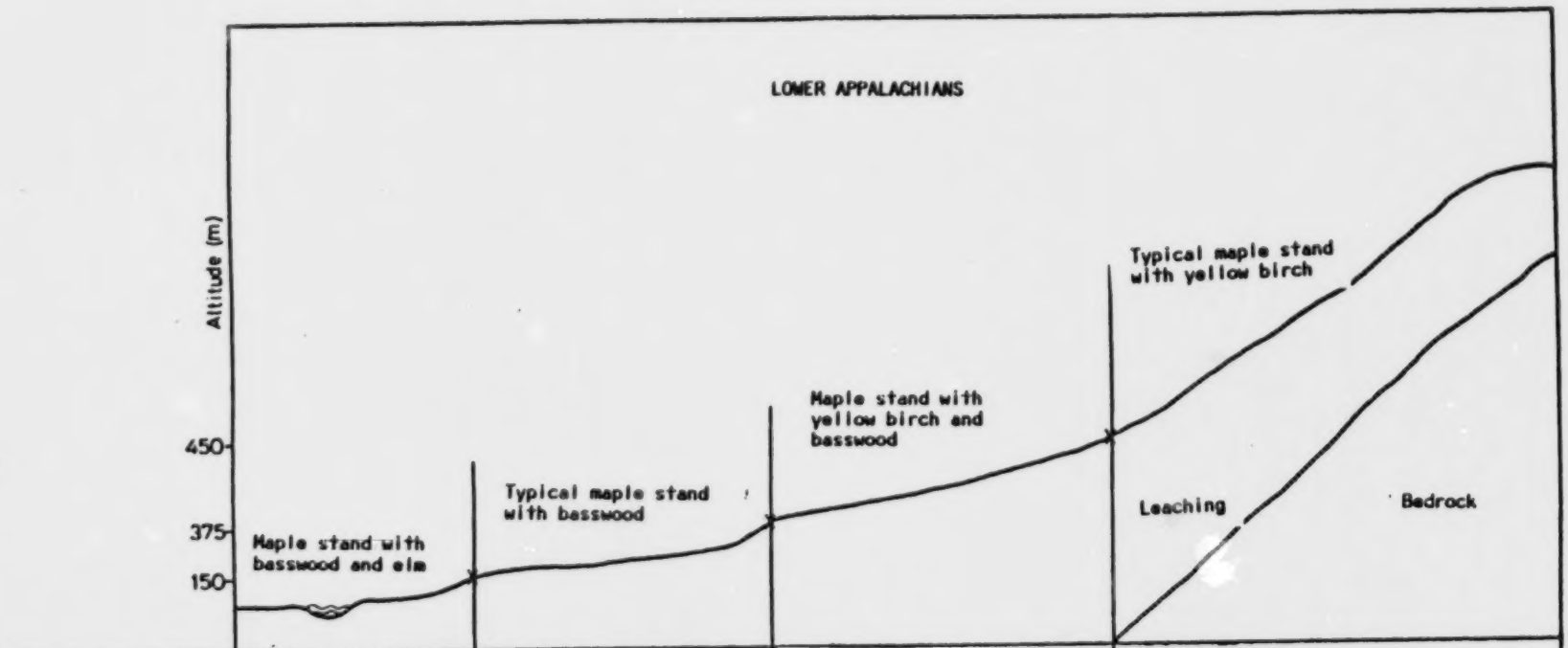
Every summer, the decline is reevaluated in all sites established since 1983 in order to keep abreast of the evolution of the phenomenon.

Evolution of the decline in relation to the different types of habitat

It is probably a commonly known fact that the forest groups in general, and sugar bushes in particular, evolve in different environments. Therefore, our primary concern was to determine the characteristics of the various sugar bushes in Québec so as to find out about their behaviour with regard to decline.

For example, through the classification of the plant ecology in the 133 study plots in the Appalachians, it was possible to divide the region studied into two sectors, i.e., the Lower Appalachians and Upper Appalachians, and to distinguish eight groups of sugar bushes. These groups can be located by means of the physiographic seres of these two sectors (Figures 1 and 2). It should be noted that all the sugar bushes studied throughout Québec were classified in this way.

The reevaluation of each tree in the various study plots established since 1983 indicates that the decline phenomenon is constantly evolving. Indeed, for the 133 study plots established in 1983 and 1984, in the Beauce and Bois-Francs, the incidence, i.e., the number of trees affected, increased from 71.2 per cent in 1984 to 81.0 per cent in 1986. During the same period, the severity, i.e., the percentage of missing foliage, went from 21.0 to 28.3 per cent (Figure 3). By adding the 66 study plots established in 1985 in the lower Laurentians, in the Saint Lawrence plain, and the Appalachians, the incidence, which was 69.6 per cent in 1985, rose to




| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Soils (morphological) | Dystrophic brown soil | Melanic brown soil<br>Dystrophic brown soil | Dystrophic brown soil<br>Humo-ferric podzol | Humo-ferric podzol |
| Surface deposit | Colluvium | Thick till | Thick till | Till |
| Topographical location | Flat | Flat | Bottom of slope to mid-slope | Mid-slope to top of slope |
| Drainage | Good to Poor | Good | Good | Good to Rapid |
| Rate of decline | Slight | Slight | Slight | Moderate |

Figure 1: Physiographic sere of the Lower Appalachians

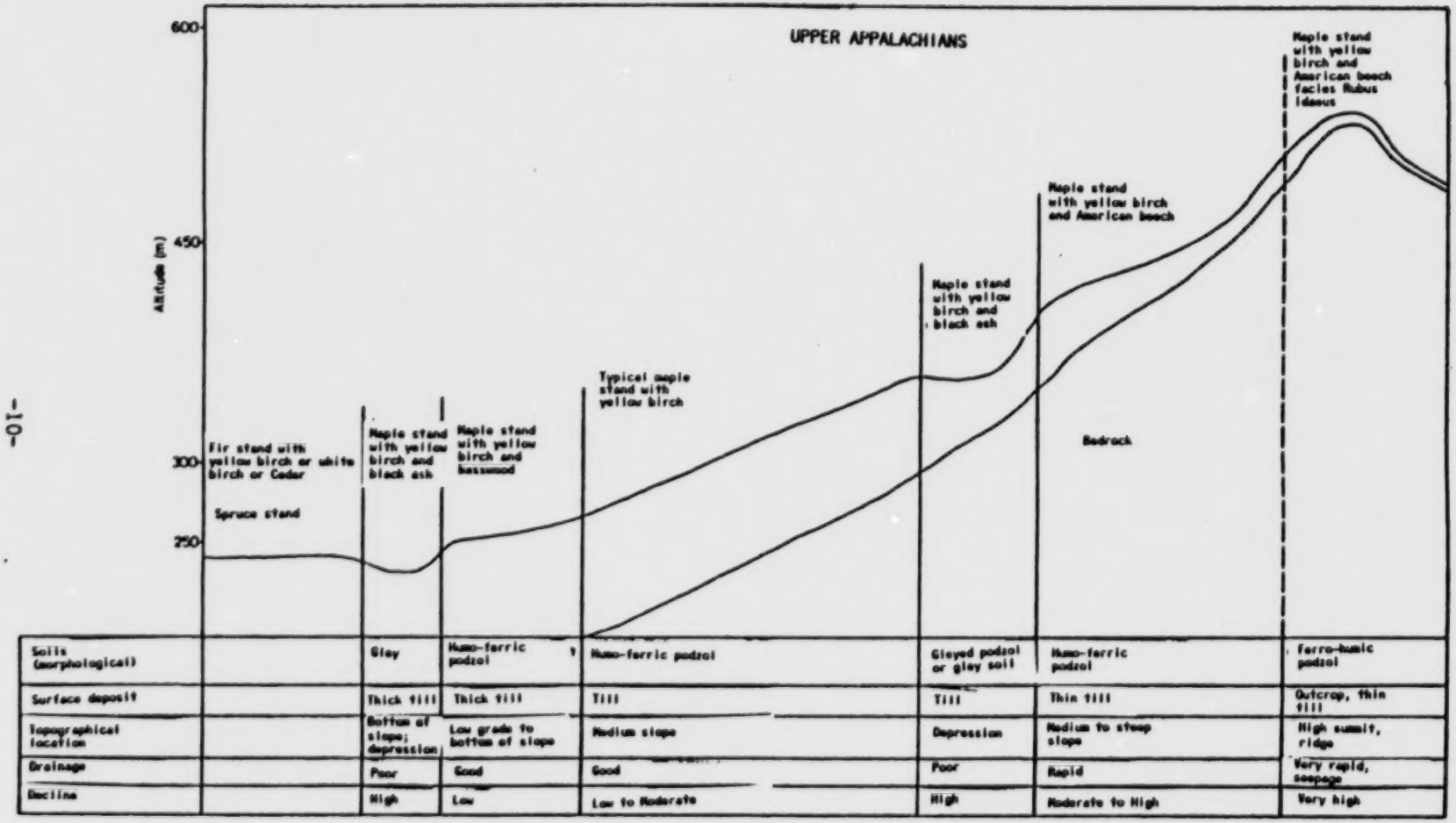
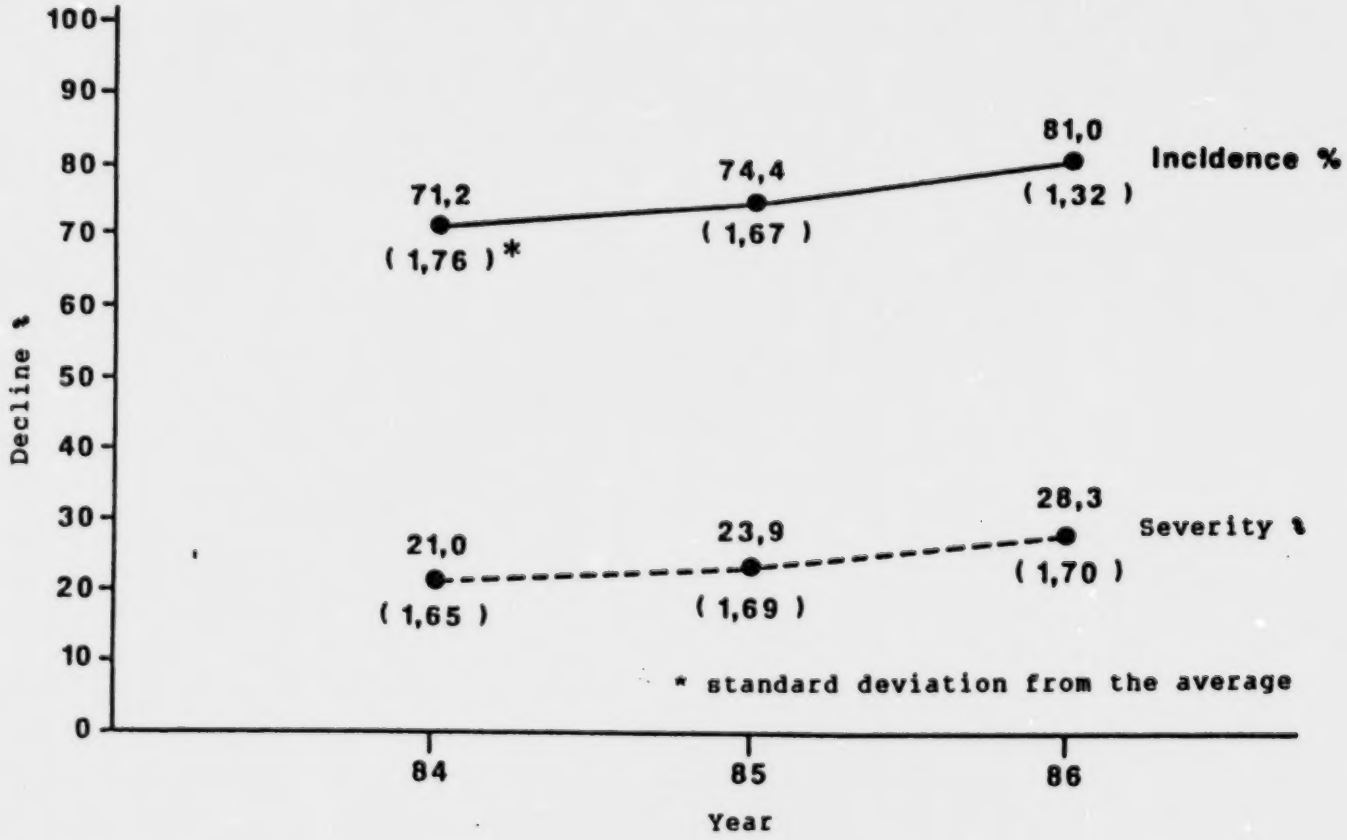



Figure 2: Physiographic sere of the Upper Appalachians

FIGURE 3

Evolution of the average value of incidence and severity for sugar bushes established in 1983 (133 study plots)



79.3 per cent in 1986, whereas the severity went from 21.2 to 25.1 per cent for the same period (Figure 4).

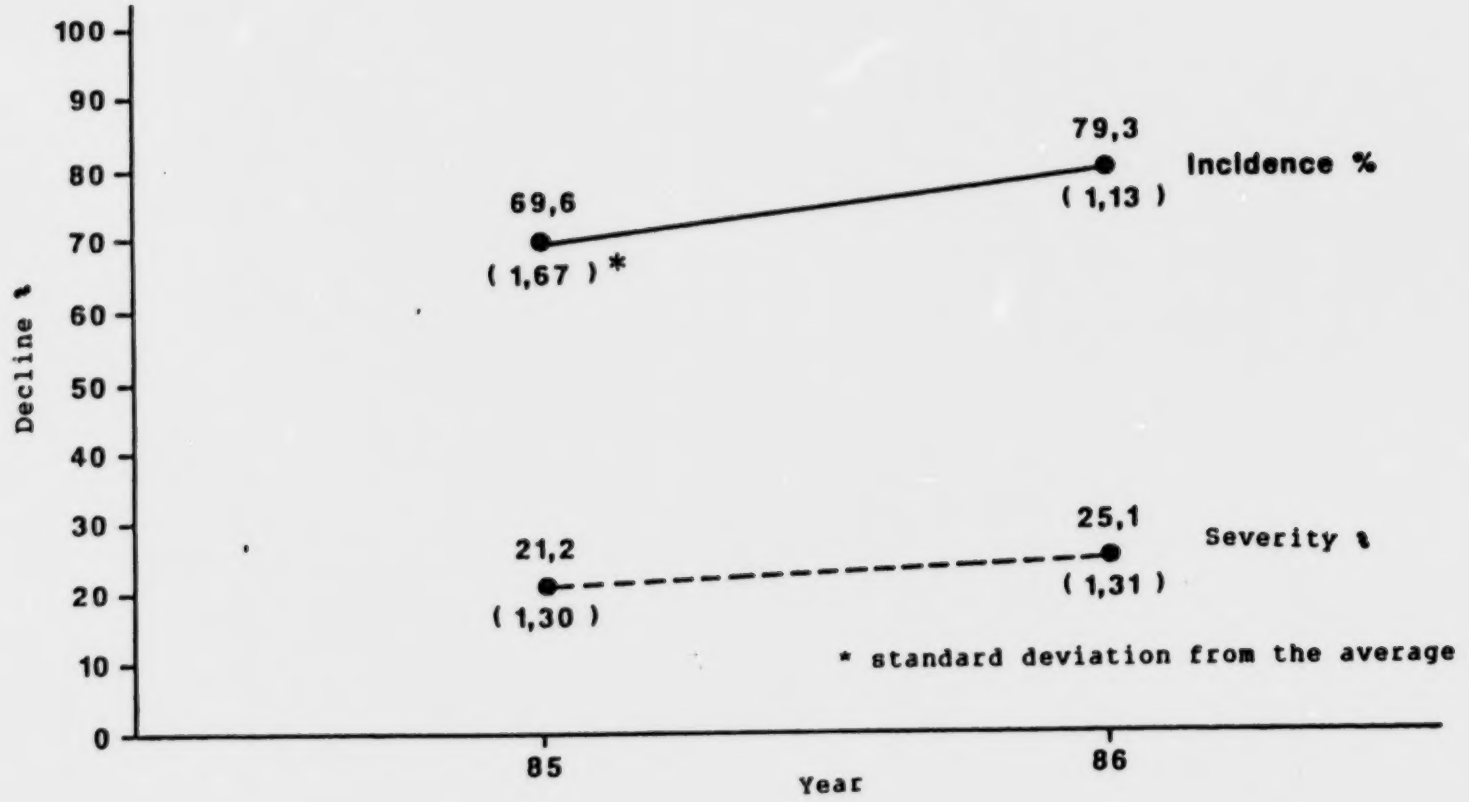
A more detailed analysis of the study plots shows that the evolution of the decline is different for each type of sugar bush. As another example, for the plots established in 1984, it is observed (Figure 5) that the maple stands with yellow birch and basswood, and maple stands with basswood and white elm were the least affected at the beginning, with 12.5 and 15.0 per cent severity respectively, whereas in 1985, they increased to 14.7 and 18.7 per cent. However, it was the maple stands with yellow birch and black ash, and maple stands with yellow birch and beech that were affected the most, with 39.2 and 23.2 per cent in 1984, and 43.3 and 26.9 per cent in 1985 respectively. In general, we note that the more the maple stand varies from the optimum growth of the sugar maple, the more vulnerable it is to decline. We also note that there are maple stands which are affected less than others, but that the progression of the phenomenon remains almost constant from one maple stand to the next.

It is important to point out that the evaluation of the decline is performed on all hardwood species present in the stand, and not only on sugar maples.

This analysis therefore shows that the drainage or water balance is a factor that is important in relation to the condition and progression of the decline. Indeed, the parabolic curve (Figure 6) shows that high levels of decline are found in the classes of extreme drainage. In other words, damp environments colonized by maple stands with yellow birch and black ash, and dry environments colonized by maple stands with yellow birch and beech are the most susceptible to decline. The

FIGURE 4

Evolution of the average value of incidence and severity for sugar bushes established in 1983, 1984, and 1985 (199 study plots)



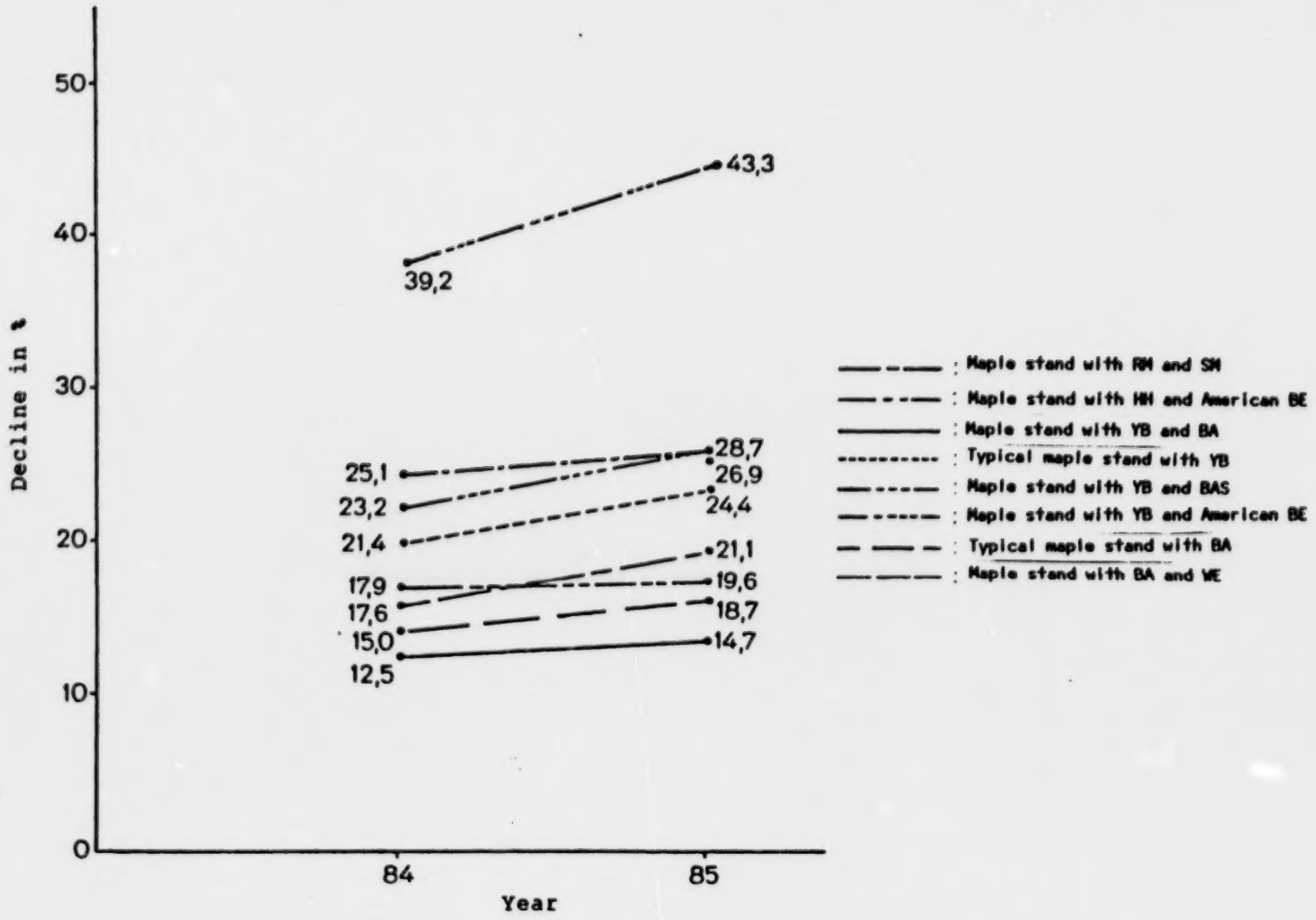



Figure 5: Average value of severity for different types of maple stands in relation to year

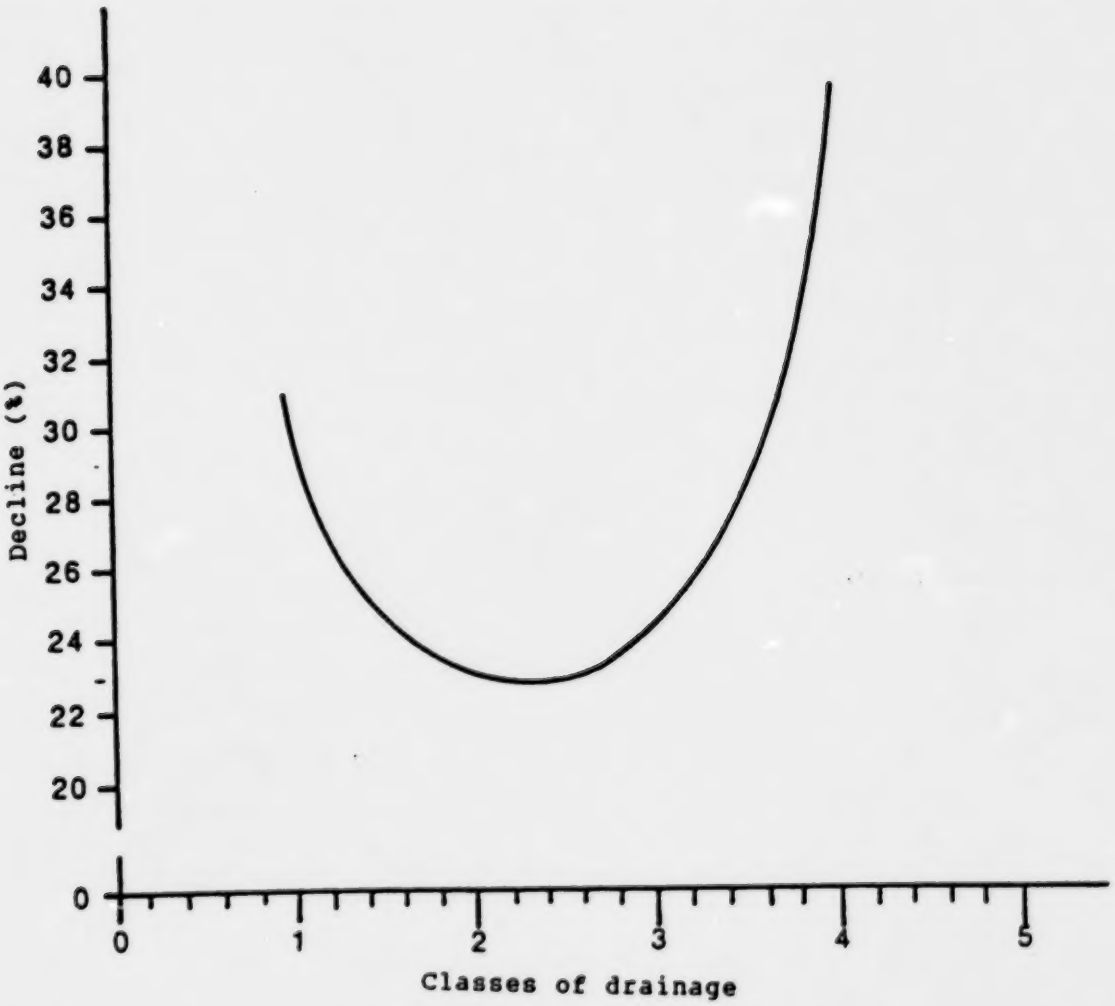



Figure 6: Extent of decline in relation to classes of drainage

statistical analyses in fact indicate that this factor accounts for almost 20 per cent of the rate of decline, with a probability threshold of 95 per cent.

Behaviour of decline in relation to the opening of the canopy

Through the analysis of dendrometric data, we wanted to see whether partial cuts or thinning in sugar bushes could influence rates of decline. We therefore analyzed the number of stems, the basal area, the average diameter, and average merchantable volume for the main types of sugar bushes already identified.

It is not possible, within the confines of this conference, to analyze in detail all relations between these data. As a preliminary approach, we shall retain the basal area only.

In the analysis of these data, we may conclude that in general, the greater the basal area, the lower the decline. This is particularly evident in maple stands with yellow birch and beech, and maple stands with yellow birch and black ash, the two types of maple stands most affected by dieback. In fact, for the maple stand with yellow birch and ash (Table 1), when the decline affects less than 10 per cent, the average basal area is 32.7 $m^2$ per hectare. However, when there is over 51 per cent decline in the study plots, the basal area is only 15.3 $m^2$ per hectare. It should also be noted that the basal area of dead trees increases from 0.36 to 2.8 $m^2$ per hectare.

Maple stands with yellow birch and black ash (Table 2) which have from 11 to 25 per cent decline have a basal area of

TABLE 1
DENDROMETRIC CHARACTERISTICS OF THE MAPLE STAND WITH YELLOW BIRCH AND BEECH ACCORDING TO THE DECLINE CLASS

| Decline Class (per cent) | Number of plots | Average number of stems [1] | | Average basal area [2] | | Average diameter | | Average volume [3] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | L[4] | D[5] | L | D | L | D | L | D |
| 0 to 10 | 2 | 585.00 | 20 | 32.66 | 0.36 | 27.00 | 14.9 | 275.51 | 1.80 |
| 11 to 25 | 13 | 468.46 | 10 | 25.82 | 0.44 | 27.11 | 14.91 | 213.73 | 3.10 |
| 26 to 50 | 6 | 346.67 | 33.33 | 22.57 | 3.75 | 29.33 | 25.3 | 193.91 | 39.05 |
| 51 and over | 3 | 466.67 | 120 | 15.35 | 2.80 | 20.97 | 15.9 | 106.85 | 16.81 |

1 Per hectare

2 Square metres per hectare

3 Cubic metres per hectare

4 L = living trees

5 D = dead trees

TABLE 2
DENDROMETRIC CHARACTERISTICS OF THE MAPLE STAND WITH YELLOW BIRCH AND BLACK ASH ACCORDING TO DECLINE CLASS

| Decline Class (per cent) | Number of plots | Average number of stems [1] | | Average basal area [2] | | Average diameter | | Average volume [3] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | L[4] | M[5] | L | M | L | M | L | M |
| 11 to 25 | 2 | 470.00 | 5.0 | 31.73 | 0.15 | 29.90 | 9.75 | 274.26 | 0.94 |
| 26 to 50 | 2 | 530.00 | 20.0 | 17.42 | 0.42 | 20.2 | 8.2 | 114.79 | 2.39 |
| 51 and over | 4 | 257.50 | 90.0 | 12.05 | 5.96 | 23.5 | 30.52 | 94.53 | 51.83 |

1 Per hectare

2 Square metres per hectare

3 Cubic metres per hectare

4 L = living trees

5 D = dead trees

31.7 $m^2$ per hectare, whereas those which have over 51 per cent decline have no more than 12 $m^2$ per hectare. The mortality for the same decline classes increases from 0.15 to 5.96 $m^2$ per hectare.

We may therefore conclude from these analyses that the thinning and partial cuts causing an opening in the canopy must be avoided at the present time, particularly in the most fragile stands.

Factorial analysis of correspondence

With a view to determining the most significant factors in the evolution of dieback, we performed a factorial analysis of the correspondence on 74 variables, including ecological (slope, altitude, exposure...), dendrometric (age of stand, number of stems per hectare...), pathological (decay, winter injury...), entomological (epidemic of forest tent caterpillar...), climatological (thaw, frost, drought...), pedological (nutritional content, pH...) (Roy, 1987).

Of the 74 variables, the analysis retains only 22 significant variables, linked mainly to pathology and pedology. The profiles of sugar bushes which have a decline rate of over 50 per cent (severity) are:

- either sugar bushes that colonize lithic soils, of a depth of less than 50 cm, in which the deposit is a thin till with the presence of rocky outcrops. These maple stands are often found on slopes greater than 21 per cent;

- or sugar bushes on sites with imperfect drainage found in depressions.

Within these two types of habitats, the trees seem particularly affected by various insects and diseases. In fact, the analysis reveals that every tree in these sugar bushes is suffering the simultaneous onslaught of two diseases, or one disease and one insect. Moreover, over 41 per cent of the trees have taphole wounds, and between 16 and 20 per cent of the crowns show symptoms of diseases, such as withering of leaves, necroses, chloroses, etc. The nature of these pathological factors subjected to a dendrochronological study indicates that these trees have been undergoing a major decrease in vigour for at least seven years.

The analysis also shows that the declining maple stands mainly contain trees of a height of 15 metres or less. This characteristic probably affects the maple stands at the top of the slope only. This point tends to indicate a certain influence of altitude and exposure.

The pedological criteria brought out by this analysis concern horizon B only. The results indicate that the aluminum levels vary between 1.01 and 2.29 ppm. These are the highest values for our overall survey. Moreover, the pH of horizon B runs between 3.5 and 4.0, or the most acid class of pH in our sampling.

Deficiencies in nutritional status

A comparative study of chemical analyses of soil from the same sites from which samples were taken after an interval of over twelve years (Gagnon et al., 1986) reveals a slight decrease in pH, a major decrease in exchangeable cations of potassium, magnesium, and calcium, and an increase in organic matter and the C/N ratio in the majority of reanalyzed soils.

In addition, the study of the nutritional status of the maple stand in the Appalachians, conducted by Dr. Bernier of Laval University, shows potassium and calcium deficiencies in the foliar tissues. In numerous cases, there are also nutrition problems related to phosphorus (Bernier and Brazeau 1987).

Causes of Decline

It appears obvious to us that the results of these chemical analyses of the soils and leaves indicate major disturbances in the nutritional status of sugar bushes in Québec territory. In addition, when an assessment is made of the causes which may give rise to such a disturbance, the main factor which surfaces is pollution of the atmosphere, particularly acid deposits. Moreover, the data from the acid rain gathering system of the Department of the Environment indicate that deposits of sulfates and nitrates for a large number of stations are in excess of 40 kg per hectare per year (Grimard, 1985) in locations where soil samples were taken. We should also remember the presence in the atmosphere of various pollutants, such as $SO_2$, ozone, and heavy metals. Thus, the interaction of these various moist, dry, and gaseous pollutants can be envisaged as the main causative factor, responsible for setting off the decline.

It is obvious that other factors may contribute to the decline. Let us consider, among other things, the factors of dry or humid habitats, trees decaying or which have been attacked by insects; let us think also about the stands in which large openings have been made in the canopy recently. However, none of these variables can in itself or in combination, explain the triggering of the phenomenon.

Orientation of our research

The research we are conducting involves two main factors, i.e., determining the methods of making sugar bushes less vulnerable or more resistant to decline, and measuring the impact of the various environmental stresses on the dynamism and productivity of the forest ecosystems.

With regard to the first aspect, we did some experiments involving liming and fertilization through microinjection. This method is particularly interesting when the root system has deteriorated to too great an extent, and cannot efficiently absorb the nutrients in a conventionally applied fertilizer.

Conventional fertilization trials will also be carried out in operations which were limed in the fall of 1985.

We would point out that numerous researchers (Bernier and Brazeau, 1987; Huettl, 1987) state that it is possible to reduce the progression of forest decline through the improvement of the nutritional content by applying suitable fertilizers.

With regard to the second aspect, we are in the midst of setting up a network of permanant study plots in order to measure the various environmental stresses, including atmospheric pollutants and their effects on the productivity of the ecosystem. This network is thus going to include approximately twenty permanent study plots distributed throughout Québec in hardwood and softwood stands. According to availability, various instruments will be installed, to measure dry, gaseous, and humid deposits.

## Synthesis and Recommendations

The study of the influence of the different ecological variables on the condition and evolution of the decline led us to analyze an enormous quantity of data measured and observed. We believe that the state of advancement of our work enables us to make a fairly complete synthesis of the most important elements, and to draw useful conclusions.

The current status of our analyses makes it possible for us to state the following:

1 - The stands affected the most are situated on the top of mountains, and in thin, dry soils, or in damp environmments. Stands situated in richer and deeper soils, located at mid-slope, at the bottom of a slope, and in the Saint Lawrence plain, are affected by the phenomenon, but to a more moderate degree.

2 - Our results show that the decline phenomenon is constantly evolving. We can even evaluate the life expectancy of the different types of sugar bushes. Some of these types have only a few years before all the trees of which they are composed will be affected.

3 - With regard to the degree of participation of certain ecological variables in the evolution of the decline, we are able to state that the tapping and the various methods of tapping, epidemics of the forest tent caterpillar, the 1981 thaw, droughts, and the cutting of companion species cannot be retained as variables which cause the decline, since the phenomenon is present in maple stands that are untapped or undisturbed by cutting, and in regions where there have not been any epidemics of

insects or climatic disturbances. Neither can the problem be attributed to armillaria root rot (Armillaria mellea (Vahl ex Fr.) Kummer), since this does not move into action until trees are already in a considerable state of decay.

4 - We are able to affirm, however, that the epidemics of insects, the thaw of 1981, and the droughts of 1982 and 1983 contributed to accelerating the decline. Indeed, we find the presence of these three variables at the same time in the Québec region, where the evolution of the phenomenon was the most rapid.

5 - In analyzing our data, it is now possible for us to identify atmospheric pollution as the main cause of decline. Various factors enable us to reach this conclusion. First of all, the decline phenomenon appears and develops from the outside of the crown toward the inside. Then, stands that are too open are more affected by dieback, which makes the trees more vulnerable to the surrounding pollution. Also, the analysis of all the variables measured and observed did not make it possible to isolate a factor or factors, other than pollution, which could be responsible for triggering the phenomenon. Lastly, our comparative study of the soil analyses shows major disturbances in Québec soils. The status of our research does not allow us to identify all the polluting factors. However, acid rain appears to play an important role owing to the lowering of the pH in the soil, and the reduction in the quantities of nutrients available, and nutritional deficiencies detected in the leaves.

Now that we have identified the main and secondary causes of decline, can we suggest any solutions?

The definitive solution to the problem will come, in our opinion, when pollution has decreased to a level that the ecosystem can tolerate. Until then, we will have to live with the problem and apply poultices.

The measures we can recommend at the present time concern management. In fact, with the knowledge we have now, we must recommend the avoidance of thinning cuts, because open stands are much more susceptible to decline. Forestry work will have to be limited to removing dead or nearly dead trees. By making this recommendation, we know that we are going against what has been prescribed up to now, i.e., thinning the sugar bush considerably in order to obtain trees with large crowns. However, in view of the problem affecting our forests, perhaps even all forest management standards will have to be reconsidered.

To maple growers who wish to put a new sugar bush or a new section of their sugar bush into production, we recommend developing the least vulnerable sections, i.e., stands growing at mid-slope or at the bottom of slopes, in deep soils well supplied with nutrients. In fact, these stands have a better life expectancy than those situated at the top and in thin, dry soils, or those located in damp depressions.

We also wish to point out that the improvement of the nutritional status by means of suitable fertilizers seems to slow down decline. More accurate recommendations concerning this aspect will soon be available.

Bibliography

BECKER, M. and G. LEVY, 1983. "Le dépérissement du chêne: les causes écologiques." Revue for. française XXXI (5): 341-356.

BENOIT, P., G. LAFLAMME and D. LACHANCE, 1985. "Insectes et maladies des arbres. Québec 1984, Enquêtes spéciales." Forêt Conservation 51(10): 22-31.

BERNIER, B. and M. BRAZEAU 1987. "Fertilisation des sols d'érablière en regard du dépérissement de la forêt: aperçu de nos travaux." In. Regional maple conference, February 11, 1987, Department of Agriculture, Fisheries and Food, p. 56-64.

BORDELEAU, C. 1986. "Dépérissement des érablières, ampleur des dommages dans les Appalaches." In: Dépérissement des érablières, maple production information day, May 8, 1986; Conseil des productions végétales du Québec, p. 21-36.

BORDELEAU, C., 1987. "La carte des relevés aériens du dépérissement des érablières au Québec." Service de la protection contre les insectes et les maladies (Insect and disease protection service). Department of Energy and Resources, 2 p. + maps.

BOUVAREL, P., 1984. "Le dépérissement des forêts attribué à la pollution atmosphérique." Le Courrier de la Nature 94: 30-35.

CARRIER, L. 1986. "Le point sur le dépérissement des forêts du Québec. Department of Energy and Resources of Québec. 29 p.

CLARK, J., 1961. "Birch dieback." In: Recent Adv. Bot., University of Toronto Press. Toronto: 1551-1555.

GAGNON, G., G. ROY, C. GRAVEL and J. GAGNE, 1986. "Etat des recherches sur le dépérissement au ministère de l'Energie et des Ressources." In: Dépérissement des érablières, maple production information day, May 8, 1986; Conseil des productions végétales du Québec, p. 47-85.

GRIFFIN, H.D., 1965. "Maple dieback in Ontario." For. Chro. 41: 295-300.

GRIMARD, Y., 1985. "Sommaire des données de la qualité des eaux de précipitations 1984." Réseau d'échantillonage des précipitations du Québec, Dir. des relevés aquatiques (Aquatic surveys branch), Department of the Environment, PA-19, 99 p.

HUETTL, R.F., 1987. "Fertilization as a tool to remove "new type" forest damages." Pre-Print. Effects of air pollution on terrestrial and aquatic ecosystems symposium, May 18-22, Grenoble, France, 7 p.

LACASSE, N.L. and A.E. RICH, 1964. "Maple decline in New Hampshire." Phytopathology 54: 1071-1075.

LACHANCE, D., 1985. "Répartition géographique et intensité du dépérissement de l'érable à sucre dans les érablières au Québec." Phytoprotection 66: 83-90

POMERLEAU, R., 1944. "Observations sur quelques maladies non parasitaires des arbres dans le Québec." Can. J. Res. C22: 171-189.

RICH, S. and G.S. WALTON, 1979. "Decline of curbside sugar maples in Connecticut." J. Arboric. 5: 265-268.

ROY, G. 1987. "Influence de quelques variables écologiques, pédologiques, météorologiques et d'aménagement acéricole sur le taux de dépérissement des érablières." Feuillet météorologique, Department of the Environment. Vol. XXV (4): 63-90.

VAN DOREN, B. 1986. "Dépérissement forestier... où est la vérité?" Bull. Soc. For. de Belgique 93(3): 150-160.

# MAPLE DECLINE IN ONTARIO: SITUATION/RESEARCH STATUS REPORT

D. L. McLuaghlin

Ontario Ministry of the Environment
Air Resources Branch
Phytotoxicology Section

880 Bay St. 3rd Flr
Toronto Ontario
M5S 1Z8

Prepared for Maplefest 87
Grand Falls
New Brunswick
June 12-13,1987

## Maple Decline ... a complex phenomenon

Maple decline is not a recent problem, nor is it restricted geographically. It was first reported in 1913 in Pennsylvania and New Jersey(7). In the 1920s and 1930s, maple decline occurred in several states in the NE U.S. The first reported Canadian incidence of maple decline was 1947-48 in central Ontario(14). Many references originated from the Great Lakes states and Ontario throughout the 1950s. The Beauce County area south of Quebec City experienced maple decline as early as 1931/32 and again in 1962(1).

The number of sugar maple decline episodes appears to be increasing dramatically. For example, of 102 published citings in Ontario, 65 were recorded after 1975. It is not certain, however, whether this actually represents an increase in the extent of the problem or simply an increase in the frequency of reporting as a result of recent enhanced public environmental awareness. Currently, maple decline is a problem in some parts of Ontario(13), in scattered locations across most of the NE U.S. and perhaps in New Brunswick(15). Unquestionably, the most severe and extensive decline episode in recent history is occurring in Quebec in a large area mostly to the south of Quebec City(6).

The symptoms most often observed in declining sugar maple stands include abnormally small and pale green or chlorotic foliage, premature fall colouration, late spring bud flush and early leaf fall. Progressive crown dieback occurs which usually starts with the fine twigs at the top and sides and works inwards until whole branches are dead. Tap holes and other superficial wounds heal more slowly, if at all, and the bark peels off recently dead branches. Epicormic sprouting on the main bole and at the base of large branches beneath the crown is frequently observed. Mortality usually occurs within a few growing seasons, although recovery of affected trees is possible. Depletion of stored starch reserves and a reduction in fine root biomass and annual incremental growth have been documented in declining sugar maple trees.

The causes of sugar maple decline are as numerous as the symptoms. Most investigators have concluded that there is no single causal agent, rather a decline episode is usually precipitated by a series of environmental stresses acting accumulatively or synergistically. Table 1 summarizes the various causal agents associated with 189 published reports of maple decline from all over NE North America. These data illustrate that insects and disease were each cited as inciting causal agents in just less than 20% of the maple decline reports. Slightly more than 17% of the reports implicate climate and about 12% identify pollution as contributing to the decline episode. However, causal agents could not be identified in 15.3% of the cases(12). Clearly, maple decline is a complex phenomenon involving many potential causes.

The relationships of the various causal agents with respect to maple decline, or forest decline in general, have been conceptualized by Manion(11). The many potential biotic and abiotic causal agents can be described as Inciting, Predisposing or Contributing factors. Inciting factors are short but intense stresses which can cause sudden drastic injury. Examples of Incitants include defoliating insects such as the spruce budworm or the forest tent caterpillar, adverse weather such as frost, droughts or temperature extremes and acute fumigations of phytotoxic air pollutants such as hydrogen fluoride or sulphur dioxide. Predisposing factors are long-term and include less dramatic climate stress, soil type or site, genetic make-up of the tree, tree age and chronic low levels of air pollution. These factors impose a permanent stress and make the tree more susceptible to actions by other agents. Contributing factors are long-term and endemic in a forest ecosystem. These include bark beetles, canker fungi, root and sap rot fungi and viruses. Contributing factors find it easier to infect and may even act more virulent in trees which have been weakened by Predisposing or Inciting agents. The Contributing agents may eventually kill trees which are in a weakened condition. Usually, healthy trees which have not been adversely stressed by the various Predisposing and Inciting factors are capable of resisting infection or even recovering from Contributing stresses. Atmospheric pollutants, such as acidic precipitation and ozone, may be considered as either predisposing or contributing factors leading to forest tree decline.

## Maple Decline Research in Ontario

In Ontario, the Ministry of Natural Resources (MNR) has the mandate to manage the province's forest resources. Historical episodes of maple decline were investigated by the MNR. However, recently air pollution and specifically acidic precipitation have been implicated in forest decline. The investigation of pollution effects is the responsibility of the Ministry of the Environment (MOE), and therefore the MOE has assumed the lead role in recent maple decline research on the premise of determining if air pollutants are involved in the phenomena.

The MOE initiated extensive acidic precipitation studies in the mid 1970s, most of which centred on the effects to the aquatic ecosystem, soils and agricultural crops, and included biogeochemical studies at selected forest sites in addition to a program of atmospheric monitoring. In 1984, at the request of the Ontario Maple Syrup Producers Association (OMSPA), the MOE began the first program designed specifically to investigate the relationship between acidic precipitation and maple decline. However, it soon became apparent that information was lacking as to the regional distribution of the condition of Ontario's hardwood forest. Were the trees in the maple decline study sites in better or worse condition than woodlots elsewhere in the Province and how did the current situation compare with previous decline episodes? Historical surveys had not been conducted to answer these basic questions. Therefore the MOE initiated two complementary studies in 1985. The first was a survey to document tree condition throughout the hardwood forest region of the Province. The second study examined the growth of sugar maple in three distinct geographic areas.

### A Provincial Survey ... where we stand now

In 1985 and 1986, 110 permanent forest observation plots were established throughout the hardwood forest region of Ontario. This includes all of the area approximately south of a line from Sault Ste. Marie to Sudbury, which encompasses the Ontario portion of the

Great Lakes St. Lawrence and Deciduous Forest Regions of Canada(16). Three plots were also established around Thunder Bay where isolated sugar maple stands exist, even though they are north of the species' natural range.

At each plot, 100 trees greater than 10 cm DBH (diameter breast height, about 1.3 m) were tagged. Therefore, 11,000 trees were included in the survey. A health condition assessment was made of each tree, and the presence of faults such as frost cracks, logging scars, cankers and fungal fruiting bodies was recorded. Mensurational data were collected from each plot and soil samples were collected to classify basic chemical and physical soil parameters. A rigorous site selection criteria ensured that the trees were not adversely affected by urban centres, point sources of air pollution, transportation corridors or recent stand management. Each plot contained at least 50% sugar maple although none of the sites had been tapped for maple syrup production or logged in the last 15 years.

A tree condition assessment formula was developed which included both branch and foliar characteristics and was sensitive enough to detect relatively subtle differences in decline symptomology. The formula applies numeric values to various crown symptoms and results in a Decline Index (DI) for each tree, which ranges from 0 (healthy, no symptoms) to 100 (dead tree). The Decline Index formula is:

$$DI = \%DB + (A \times \%UL) + (A \times \%SGC) + (A \times \%SLC/2)$$

where
- DI = decline index (0 to 100)
- %DB = % dead branches
- %SGC = % significant foliar chlorosis
- %SLC = % slight foliar chlorosis
- %UL = % undersized leaves
- $A = \frac{100 - \%DB}{400}$

The various foliar characteristics were weighted proportional to the live crown. This is important, because although a declining tree is usually associated with a dying crown (dead branches), the early stages of tree decline involve changes in foliar characteristics. Therefore the decline index system includes foliar symptoms as an early warning of pending tree decline.

The results of the hardwood survey are summarized in Figure 1. The dots represent the location of the 110 survey plots. The dot texture represents the decline status and is based on the average DI for the 100 trees in the plot. Three decline classes were established, based on the frequency distribution of the individual decline indices; healthy-trace, DI <12.5, light-moderate, DI = 12.6 - 17.5 and high-severe DI >17.5.

The survey confirmed initial casual observations that maple decline is a scattered, isolated phenomenon in Ontario. However, regional differences were apparent. Table 2 summarizes the mean DI by forest section. There are 10 forest sections in Ontario(16), based on gross soil and macroclimate regimes. The Parry Sound area had the highest average DI (poorest tree condition) and a band through the south central portion of Ontario from the Bruce Peninsula across the top of Lake Ontario had the lowest DI (best tree condition). The data from Table 2 are illustrated in Figure 2.

Tree decline was not consistently related to soil physical features such as texture, depth to carbonates, depth to bedrock, or moisture regime. Similarly, the DI was not related to tree age, basal area or stand stocking. However, trees which had major faults such as cankers and frost cracks were consistently in poorer condition; i.e. had higher decline indices.

Sugar maple was the survey target species and, in fact, composed 78% of the assessed trees. However, tree condition data was also collected for 15 other tree species. The average DI for each of the 16 tree species present on the 110 survey plots is listed in Table 3. Seven tree species were encountered less than 100 times, therefore the DI

value is not likely representative of province-wide conditions. These species are identified in bold type face in Table 3. Tree species with a sample size greater than 100 provide a more confident D1. These data illustrate that sugar maple is in better condition than most other common hardwoods in Ontario.

The geographic distribution of decline correlates only superficially with atmospheric pollutant levels. Although decline is prevalent in the SW region of Ontario where pollution levels are highest, the lowest tree decline indices (best free condition) occur across the central portion of the province where atmospheric deposition is only marginally lower. Decline appears to be more frequent on the shallow soils of the Precambrian Shield, although there are many exceptions. These soils, because of their low natural buffering capacity, are potentially sensitive to changes associated with acid precipitation and forests on these sites may be predisposed to decline because of nutrient stress accelerated by acidic leaching. However, several plots on Manitoulin Island are as severely affected as many of the acid-sensitive Georgian Bay sites, and yet the soil on the island has a well buffered calcareous base very similar to the southern soil across the central portion of the province where the trees are in much better condition even though acidic deposition is higher.

Although 110 plots and 11000 trees may seem like an adequate sample size, it must be remembered that Ontario is a very large province. It is difficult to locate plots which are representative of the forest condition across a large area. However, this survey provides important baseline data because very accurate temporal and spacial trends can be recorded when the plots are re-assessed. Repeating the survey with the same assessment methodology on the same trees at the same sites will enable forest resource managers to determine if tree health is improving or deteriorating and where in the province these changes are occurring.

**Sugar Maple Growth ... has it changed with time?**

The most obvious answer is yes, because tree growth is constantly changing. Growth is the cumulative result of all factors acting on the tree at a given time. Some growth factors, such as tree species, site quality and tree genetics, are fixed and therefore exert a relatively constant influence on resultant tree growth. Other factors such as climate, insect and disease cycles and tree competition can change dramatically and result in substantial annual growth fluctuations.

Some recent studies have suggested that there has been a trend towards reduced tree growth in the last 10 to 20 years as a result of increased levels of atmospheric pollutants. Tree growth is usually expressed as a function of annual growth rings. In addition to the numerous factors which can influence annual tree growth, there is the geometry associated with increasing tree age. All other factors being equal, annual ring width will decrease with increasing tree age. As the tree gets older, its circumference increases and the rings are laid down over a constantly expanding bole, and therefore equal amounts of growth appear proportionately narrower. It is necessary to filter out the effect of tree age, and the other natural growth regulators, before the impact of anthropogenic stresses such as air pollution can be quantitatively evaluated.

Statistical smoothing functions designed to remove the tendency towards narrow tree rings with increased age have been developed and have met with limited success(5, 2). When studying point sources of air pollution, such as individual smelters, the effects of climate can be filtered out by comparing tree growth at control sites which are outside the pollution deposition zone but close enough to the study trees to share a common climatic regime. However, acidic precipitation is a regional pollutant which can affect large areas, therefore making it difficult or even impossible to locate control sites for tree growth comparisons.

In conjunction with the hardwood forest survey, the MOE conducted a study in 1985 and 1986 to determine growth trends for sugar maple in Ontario. The objective was to establish regional growth chronologies which would identify growth trends in time and could be used as a base-line data set for comparison with other provincial tree growth studies. The methodology employed was a variation of stem analysis referred to as growth profile, or growth layer analysis, developed by the Ontario Tree Improvement and Forest Biomass Institute of the provincial MNR(3, 4). Very briefly, 54 mature sugar maples were felled and cross sectional disks were removed every 45 cm along the main stem from the ground to the top of the crown. Depending on tree height, this would yield 30 to 60 disks per tree. The annual growth rings along 2 radii on each disk were measured to 0.01 mm. These data were used to calculate the annual volume increment in cubic dm for each year for every tree. In addition, an annual growth parameter referred to as Specific Volume Increment (SVI) was determined. The SVI is calculated by dividing the annual volume increment by the surface area of the ring width for the same year. It is the overall average ring width for the entire height of the tree. The SVI is an accurate measure of cambial activity and has proven to be a very sensitive indicator of changes in annual tree growth.

The SVI is a more accurate assessment of annual tree growth than simple ring width at breast height, as is determined by increment core sampling. Studies using growth layer analysis have shown the ring widths at the base of the live crown to be the most sensitive to environmental factors regulating annual tree growth. Although growth layer analysis is a very accurate method of reconstructing past tree growth, it is very time-consuming and requires specialized micro- computer technology. Also, of course, it is a destructive technique in that the entire tree is sacrificed during sampling. By comparison, increment cores are non-destructive, relatively easy to acquire and can be measured accurately on several microcomputer-based instruments. Increment core ring width data are a relative indicator of tree growth; however, breast height ring widths are not as sensitive to annual environmental changes as SVI and they cannot be used to construct

volumetric and related growth layer data. Both increment core and SVI data are subject to reductions with increasing tree age, although because the SVI data includes "younger" wood from the upper tree crown, this tendency is less pronounced.

The Ontario MOE sugar maple growth study also included more than 800 increment cores from trees adjacent to the 54 destructively sampled trees for growth layer analysis. The trees were sampled from three distinct forest sections within the Great Lakes St. Lawrence forest region(9) to produce sugar maple growth chronologies for the Ottawa, Algonquin and Sault Ste. Marie areas. Upland and lowland sites were avoided, as were sites which had been harvested or otherwise managed for the last 15 years. However, stands were sampled from different soil types.

The average SVI curve for each study area is illustrated in Figure 3. The average current annual volume increment curve for the three forest sections is illustrated in Figure 4. The average tree age was 111 years and less than 15% of the trees were more than 150 years old. The oldest tree was from a plot near Sault St. Marie, and had 345 rings in the lowest disk.

The SVI curves show five distinct growth trends have occurred in sugar maple in Ontario since about 1800. The first trend is a period of very slow growth from about 1800 to the early 1840s. This likely corresponds with suppressed seedling growth in conditions of high seedling density and low light levels characteristic of undisturbed climax hardwood forest. Growth rates tended to increase at all three sites between 1850 and 1910. This corresponds to a period of intense white pine lumbering throughout Ontario. The increased growth rates are likely a result of release related to partial stand thinning when the mature pine were removed. Sugar maple growth rates increased again between 1910 and the early 1940s. With the white pine exhausted, harvesting efforts turned to yellow birch and mature, quality sugar maple. Hardwood stands in Ontario were aggressively high-graded

in the first half of this century, creating the release which enabled the rapid growth rates which characterized this time period. Most of the quality hardwood had been harvested by 1940. Growth rates tended to level off between 1940 and the late 1960s as a result of decreased harvesting pressure and stand stabilization.

Prior to about 1970, the SVI curves maintain a distinct geographic individuality. Sugar maple in the Ottawa region had a consistently better growth rate than those in the Sault St. Marie area. This is probably because the Sault St. Marie area is the most northerly of the three sites. Maple in the Algonquin region had the lowest growth rate until about 1910 when annual incremental growth increased dramatically, then continually surpassed the other two regions until about 1970. At this time, the growth curves from all three regions coalesce and enter a period of growth decline the length and degree of which is unique in the 180-year chronology.

A simultaneous decline in separate geographical regions suggests a widespread environmental stress. The levels of atmospheric pollution varies between these regions. Acidic deposition is similar in the Algonquin and Ottawa regions (about 25 - 30 kg/ha/year wet sulphate) and somewhat lower around Sault Ste. Marie (10 - 15 kg/ha/yr). Similarly, Algonquin and Ottawa have comparable $O_3$ concentrations during the growing season, which are higher than those experienced in the Sault Ste. Marie region (35 ppb vs. 20 ppb, growing season daylight mean 1974 to 1981). The distribution of these atmospheric pollutants in Ontario are illustrated in Figures 5 and 6.

There was a tendency towards better growth rates within each region on fine textured soil and soil with a higher pH; however, neither of these soil parameters appeared to regulate the recent decline trend. Also, soil depth to bedrock and tree age were not consistently related to either growth or decline.

From 1975 to 1978 most of the south central part of Ontario, including the three study regions, experienced extensive and severe defoliation by forest tent caterpillar (see Figure 7). The peak of the infestation occurred in 1976 and 1977, and some areas in the western half of the Algonquin region were likely defoliated twice in one growing season.

The effect of severe, repeated defoliation can be clearly seen in reduced growth for this time period on the SVI curve (Figure 3). However, it is illustrated even more dramatically in volumetric growth loss (Figure 4). Prior to the insect infestation in the early 1970s, sugar maple trees in all three forest regions averaged about 12 $dm^3/yr$ volumetric growth. This dropped abruptly to between 6 and 7 $dm^3/yr$ in 1977 at the height of defoliation. Although growth recovery occurred subsequent to the collapse of the insect population, the ensuing general decline trend appears to be even more severe afterwards. Therefore, tent caterpillar defoliation is certainly a contributing factor in the recent trend in declining growth.

Climate also appears to be involved in the trend towards declining growth since about 1970. Precipitation is rarely limiting to tree growth in Ontario, particularly on the richer, deeper soil sites preferred by sugar maple. However, monthly temperature extremes can affect annual incremental growth, particularly for species at the northern edge of their geographic range. Sugar maple growth was found to be influenced by the current mean April temperature and the previous October mean temperature more frequently than any other monthly combination, or winter or growing season mean temperatures. Unfavourable fall temperatures may inhibit bud set and starch assimilation as the tree prepares for dormancy and stores the reserves necessary for early growth the following year. Unfavourable spring temperatures interfere with the formation of growth hormones required to initiate shoot and root elongation and may damage newly emerged tissue. Similar current spring/previous fall temperature/growth relationships have been identified by the MNR for northern conifers(10).

These thermal stress events appear to be occurring more frequently. There were two thermal stress events, identified by both the current April and previous October mean temperatures below the long-term mean, in the 20-year period from 1900 to 1920 in the three forest regions under study. In the next 20-year period, from 1921 to 1940, there were 9 thermal stress events. This was also a time of mature hardwood

harvest, and increased growth as a result of release from competition may partially compensate for reduced growth due to unfavourable temperatures. There were four thermal stress events form 1941 to 1960 but from 1961 to 1984 the number of events increased to 15.

A one-year lag subsequent to a significant environmental stress was identified in both the Algonquin and Ottawa areas, whereas a two-year lag frequently occurred in the more northerly Sault St. Marie region. This is a recovery period over which the tree rebuilds its reserves. Therefore, the impact of environmental stress can be accumulative if the stresses occur close enough together.

To return to the question raised at the beginning of this section as to whether the growth rate of sugar maple in Ontario has changed and are trends apparent, the answer is very definitely yes. Since about 1800, at least five general growth trends are apparent, including the most recent reduction in growth which appears to be unique in the 180-year chronology. Although atmospheric pollutants are undoubtedly a contributing factor because they are an additional environmental stress which burdens an already over-stressed ecosystem, they are not likely an inciting factor because the growth decline is occurring simultaneously on all soil sites and in areas of differing pollution concentrations.

Declining Sugar Maple Trees ... a close look

As mentioned briefly before, the MOE initiated a study in 1984 specifically designed to intensively investigate sugar maple decline at selected sites. Eleven woodlots were chosen with the assistance of the Maple Syrup Producers' Association. Eight of the sites were active sugar bushes, and all the woodlots were selected because sugar maple decline was evident, although a gradient of decline severity was observed. Unlike the survey and the growth study already discussed, this study deliberately included declining trees.

At each site, a permanent observation plot was established where all trees greater than 10 cm DBH were assessed using the hardwood assessment methodology developed for the provincial survey. Declining and healthy trees were identified and intensively sampled. The

individual tree sampling included foliage, soil and roots, increment cores, observations of insects, disease, cankers and other wounds and root collar xylem for starch determination. In addition, at least two trees from each site were felled for growth layer analysis. The study sites were chosen from different deposition zones and from calcareous brunisol and acid podzol soils.

There was no apparent relationship between the average decline index of each site and stand stocking, basal area or total plot biomass. However, there was a tendency towards higher decline indices (poorer tree condition) in older trees, trees which had been tapped for maple syrup production and trees with several trunk faults.

Soil macronutrients were not limiting at any of the study plots, although nutrient concentrations were less than optimal at some of the woodlots on the podzolic soils of the Precambrian Shield relative to finer textured soils encountered at the southern calcareous brunisol sites. Soil pH values were low (average 4.8) and the soluble aluminum concentration was relatively high (average 25 ppm) at the podzol sites. Conversely, at the study plots located on brunisol soil, the pH was almost neutral (average 6.6) and available aluminum concentrations were very low (less than 1 ppm). Regardless of plot location and soil chemistry, there were no statistically significant relationships linking tree decline with an excess or deficiency of soil macronutrients or potentially toxic trace metals, such as aluminium. Similarly, foliar chemical concentrations were not consistently related to tree condition. The foliar chemistry was found to be extremely variable. For example, foliar macronutrient levels associated with declining trees at one site were similar to or higher than levels found in foliage from healthy trees at neighbouring study plots with comparable soil chemistry.

Increased fine root mortality, decreased root starch reserves and increased incidence of root rot fungi (Armillaria mallea) were observed in declining trees. Root starch concentrations of declining trees ranged from 3% to 14% and averaged 9.7%. There was a marked tendency

towards very low root starch levels in severely declining trees. By comparison, the root starch concentration of healthy trees averaged 12.7% and ranged from 9% to 18%. Trees with root starch levels below 5% often do not recover from decline(18).

The Al concentration of fine roots from healthy and declining trees at the study sites on podzolic soil were found to be significantly different when tested statistically. The fine root Al concentration of healthy trees averaged 2340 ppm, compared with 3814 ppm in fine roots from declining trees. Contrarily, the root Al concentrations of trees from the brunisol soil sites were much lower and healthy and declining tree root levels were not significantly different (1825 ppm healthy vs. 1612 ppm declining). Aluminum is toxic to tree rots, although toxicity concentrations are highly species specific and little research has been conducted with sugar maple. Increased Al availability is a potential threat to forests on soils which are sensitive to changes from acidic precipitation, such as the podzol soils which characterize large areas of the Precambrian Shield. Therefore, elevated Al levels may be a stress contributing to root mortality at the study sites located on acid sensitive podzolic soils.

The growth of healthy and declining trees from all study plots was examined with both increment cores and growth layer profile analysis. The ring width data generated from increment cores collected at breast height was detrended to remove the tendency towards narrower ring widths with increasing tree age(5). Growth patterns were similar for both healthy and declining trees until about 1975, at which time growth decreased dramatically for two years. Growth subsequently improved in the healthy trees but only marginally or not at all in the declining trees. This suggests that the event which incited the current decline occurred in about the mid-1970s. In addition, the average ring width was narrower for the 40-year period subsequent to 1945 compared to the 40 years previous to 1945. Also, the growth reduction is slightly greater in the regions which receive the highest loading of atmospheric pollutants. The growth reduction averaged 13.7% in the area receiving the highest deposition, 10.6% in the area receiving lower deposition and 6.1% in the northern control plot which receives the lowest total pollution loading. The ring width data and the corresponding pollution

loadings are summarized in Table 4. Subsequent to 1945, the consumption of fossil fuels and the resultant emissions increased substantially. Although, as discussed earlier, many factors affect tree growth, this data suggests that a reduction in incremental growth over a long period of time, in this case 40 years, has occurred concurrently with an increase in atmospheric pollutant levels. Further work is required, particularly with tree-ring detrending functions, before it can be determined if the apparent growth reductions are real, or significantly different from prepollution levels.

The growth layer profile analyses provided a very detailed look at growth patterns for the destructively sampled trees. Figure 8 illustrates the annual wood volume (in $dm^3$) produced by two sugar maple trees from 1895 to 1984. Like the increment core data, the volume data produced through detailed stem analysis reveals 1976 to be the pivotal year. The two trees were about the same age (110 years), occupied the same site and were exposed to the same environmental stresses, and accordingly, growth up to 1976 was very similar. In 1976 annual growth dropped to about 5 $dm^3$ at both trees from 14 $dm^3$ the previous year. By 1979 the growth of the healthy tree had increased to just over 20 $dm^3$ while growth of the declining tree continued to decrease to a minimum of approximately 3 $dm^3$. The tree observed in 1984 to be in a state of decline based on visual symptoms at the time of observation had, in fact, been declining physiologically since 1976. All of the studied trees showed a similar decline pattern.

A search of the insect and disease survey records revealed that the study area had experienced sever defoliation by forest tent caterpillar which started in 1975, peaked in 1976, 1977 and subsided in 1978. Weather records indicate an increase in the frequency of low spring temperatures and drought concurrent and subsequent to the time of insect defoliation.

The study concluded that decline observed in 1984 and 1985 in selected woodlots in central Ontario was incited by tent caterpillar defoliation in the mid-1970s. Identified contributing agents included low spring temperatures, drought, tree age and root rot fungi. However,

atmospheric pollutants, particularly acidic precipitation, are undoubtedly additional stresses on an already over-stressed forest ecosystem and therefore are likely contributing factors to forest decline in Ontario.

## Maple Decline ... what impact on the maple syrup industry?

The Ontario Maple Syrup Producers' Association (OMSPA) represents about 1/3 of the maple syrup producers in Ontario. A survey conducted in the fall of 1985 collected information regarding both current production techniques and the producers' observations regarding the impact of maple decline. The following is a very brief summary of some of the relevant data from that survey.

The average sugar bush was 25 ha in size and the average producer had 1064 taps from which 829 ℓ of syrup were produced in 1985. Most producers were farmers (48%) although tradesmen and professionals each accounted for 15% of OMSPA members. The income derived from maple syrup production was considered as either a minor or an insignificant component of the total income of 80% of the producers; however, that means that 20% of the producers derive a substantial or the major component of their total income from syrup production.

Exactly 1 in 3 (33%) survey returns claimed that in their opinion, hardwood decline was currently (1985) a problem in their woodlot, although 70% reported observing decline symptoms on at least some trees. Of the 33% reporting a current decline problem, 72% said it was getting worse, 17% said it was getting better and 12% said it had not changed in the last three years. Declining trees were observed in all age classes and on all site types and aspects . This corroborates other provincial survey data which concluded that maple decline in Ontario is a scattered, isolated phenomenon which is not site specific.

Even though 1/3 of the producers felt decline was evident in their sugar bushes, only 13% claimed sap volume has decreased in the last five years (9% - increased, 56% - not changed, 22% - don't know). Similarly, only 10% claimed their sap sweetness had decreased over the same time period (4% - increased, 54% - not changed, 33% don't know). The productivity data parallels the sap information in that 16% of the survey returns claimed their syrup production per tap had decreased over the last five years, whereas 13% reported an increase, 18% don't know and 53% said their productivity had not changed. The average productivity ration (i.e. litres of syrup produced/number of taps) was 0.82.

These figures, in combination with the recent boom market for maple syrup, indicates that the current level of maple decline in the province, although a concern of the producers, does not appear to be adversely affecting the maple syrup industry in Ontario.

## Suggested Remedial Actions

There are no quick fixes or overnight cures for forest decline. If atmospheric pollutants are determined to be a significant factor, the prospect for an expedient solution are dim because the necessary emission reductions are costly and will be phased in over a protracted period of time. Regardless of the causes of forest decline, there are management options which woodlot owners may employ now. These options are intended to increase general tree health and perhaps prevent tree decline from occurring or abate a current decline problem and hopefully initiate recovery.

The following suggested remedial actions are drawn from basic principles of forest dynamics and tree physiology. They are intended for the management of sugar maple, and are offered with the understanding that they may not produce the desired results all the time. Severe tree decline due to gross mismanagement or acute environmental stress may not respond to appropriate silvicultural measures.

1. **Manage for Maple on Maple Sites**

This may seem like an obvious principle, but just because sugar maple may be the dominant species on a particular site now does not necessarily mean that it is the preferred species for that site. Sugar maple may simply be the residual species remaining after other more valuable or better quality species have been harvested. Sugar maple growth on good maple sites will be two or more times the growth of off-site maple trees, and vigorous trees are less susceptible to secondary decline organisms.

Management efforts for sugar maple should be concentrated on moderately deep, well-drained, medium-textured soil. These "fresh" sites are typically mid slopes, plains or gently rolling upland plateaus. Excessively well drained hilltops and ridges, poorly drained valleys and shorelines and very shallow soils should not be managed for sugar maple. A woodlot may contain many site regimes and the owner should determine where the best return can be achieved for their limited management resources and concentrate efforts on the most productive sites.

2. **Maintain Natural Associations**

Nature has a reason for combining several species in forest tree associations. Some of the reasons we understand, and some we do not. As a result of decades of selective species harvesting and single species management (or mismanagement), it is not uncommon for sugar maple to comprise 80% or more of stand basal area in eastern tolerant hardwood forests. This is not a natural condition. Sugar maple is naturally associated with yellow birch, basswood, red oak, black cherry, ironwood, white and black ash, elm, soft maple and conifers such as white pine, hemlock, white and red spruce and balsam fir. Natural species associations may lessen the severity of species specific disease and insect infestations, more efficiently cycle nutrients, provide more favourable regeneration conditions, moderate site microclimate and produce a woodlot with a higher potential commercial and recreational value and a better affinity for wildlife attraction.

However, maple syrup producers cannot make maple syrup from beech or birch sap, and so the tendency is to remove non-crop trees. This encourages maple monocultures. It is preferable to develop a healthy forest and have to go slightly further from the sugar shack to tap vigorous trees, than to have the convenience of close trees which may be less productive and perhaps predisposed to decline because of lower vigour. In addition, a variety of tree species provides a wider market for forest products, therefore a more flexible potential revenue for the owner.

Conifers are a possible exception to the maintenance of natural associations in a hardwood bush. Conifer foliage is very acidic and changes soil chemistry in the vicinity of conifer trees as a result of the decomposition of conifer litter which may interfere with hardwood nutrient cycling. However, groups of conifers, particularly hemlock, provide yarding areas for deer and moose, although ungulate grazing may damage hardwood regeneration. Therefore the decision regarding the presence of conifers depends on the management objectives of the owner.

3. **Maintain All-aged Stands**

All-aged stands provide a continuous recruitment of crop trees. Stocking and age class distribution should be manipulated to prevent complete canopy closure so that co-dominant and understory trees are not suppressed. Do not allow the stand to become over-mature, even though these large crowned, clear boled trees are preferred for maple syrup production. Crown closure dramatically reduces growth in understory trees, saplings may stagnate or decline and regeneration is inhibited. Suppressed trees are less vigorous and therefore more susceptible to secondary decay organisms. Incremental growth, and therefore wood volume of all trees, is reduced under over-mature or excessively closed crown conditions.

4. **Thin With Purpose and Timing**

Excessive or improperly timed thinning can incite decline in residual trees. Sugar maple is a shade tolerant tree species, which literally means it can survive in low light conditions. However, the reverse is not true in that it does not thrive under high light intensity. Sugar maple requires and grows best under partial shading. Heavy thinning results in a radical increase in light intensity to the residual trees, which in turn can cause increased incidence of sunscald and frost cracking. These mechanical injuries are infection courts for secondary decay fungi and produce an inherent loss in tree vigour. These problems seem to be particularly evident after thinning of very low or very high basal area stands. A conservative thinning guide to prevent these problems is do not remove more than 10% of the basal area per year. In dense stands it may take several annual harvests to achieve the desired stand density.

What is the optimal density? Growth studies conducted by the Ontario Ministry of Natural Resources have determined that the maximum growth response of sugar maple occurs at about 14 $m^2$/ha (about 60 $ft^2$/ac) . Furthermore, after 20 years, the trees have filled up the available growing space and growth has returned to pre-thinning levels. Therefore a cutting cycle of 20 years which thins the stand to 14 $m^2$/ha maintains sugar maple at optimum vigour, as measured by incremental growth.

5. **Thinning and Insect Defoliation**

Defoliation in the first half of the growing season destroys the photosynthetic base of the tree before the leaves have assimalated enough energy to replace the stored starch reserves utilized in the initial leaf production. Also, given favourable weather conditions, defoliated trees often attempt to re-foliate. This consumes even more of the stored starch reserves and leaves the tree perilously low on the energy necessary to fuel root growth and prepare for bud formation and winter dormancy. For these reasons, defoliation can frequently result in mortality, particularly if growing conditions are unfavourable in subsequent years.

Therefore thinning harvests should not be conducted before a pending outbreak of defoliating insects because the thinning cut followed by possible insect related mortality may result in a basal area reduction of considerably more than 10% and so predispose the residual trees to sunscald, frostcrack and reduced growth due to high light intensitites. The annual Federal Insect and Disease surveys are a reliable source of insect activity on a regional level and should be consulted before executing a thinning harvest.

The same logic can be applied regarding thinning immediately after a defoliating insect epidemic. Some mortality has likely occurred and additional thinning may run the risk of increasing the light intensity of the residual stand too much, resulting in decreased instead of increased stand vigour. However, dead trees should be removed. Salvage harvests can often utilize the timber and at the same time it removes potential infection courts and may reduce the frequency of some secondary decay organisms.

6. Thinning, Tree Genetics and Stand Improvement

When conducting thinning harvests resist the temptation to market the highest quality timber in the woodlot. Many desirable tree characteristics such as growth rate, form, resistence to disease, sap sweetness and sap volume are genetically inherited traits. Therefore, by harvesting the best, the poorer trees are left by default. The residual trees, in turn, may form the major component of the future growing stock. Therefore, "high-grading" as the practice is called, can result in decreased residual tree quality and may deplete the genetic potential of the stand. It is, in fact, the poorest quality trees which should be removed to stimulate growth of the superior growing stock and improve the potential of the residual stand.

7. **Minimize Skidding and Related Disturbance**

Although main anchor roots may penetrate to several metres, depending on soil texture and depth, the small, fine feeder roots which supply the tree with minerals and moisture are much shallower, often less than 30 cm deep and sometimes prolifferate in the soil organic layer. Damage to the fine feeder roots imposes an immediate and direct loss in tree vigour. Therefore skid trails, and other woodlot access and harvest roads, should be minimized and laid out so as to cause as little soil disturbance as possible in order to avoid root damage to the residual trees. Skid with the smallest practical machinery and restrict harvesting to the winter when frozen ground and snow cover provide some measure of root protection.

8. **Restrict Access, No Grazing**

Although it is an old adage, it cannot be repeated often enough. Cows make poor foresters and woodlots make poor pastures. Grazing cows trample, uproot and eat regeneration. The soil becomes compacted, which further impedes seedling establishment and inhibits percolation of moisture into the rooting zone. Sharp hooves damage the root collar of larger trees thereby exposing the tree to direct infection by decay organisms. It takes from 2 to 10 ha (5 to 25 ac) of woodland pasture to provide the nutrient equivalent of ½ ha (just more than 1 ac) of improved pasture. In addition, because woodland pasture has a lower inherent nutrient status, cows grazed in the bush produce less milk and beef. Despite these well known relationships, a recent survey of maple syrup producers in Ontario revealed that 32% of the respondents had grazed their woodlots in the last 10 years.

9. **Tree Removal**

Tree removal, other than planned (and properly timed) thinning, should be avoided. Most maple syrup producers annually remove unthrifty or declining trees. Do not remove these trees until they are dead. The most obvious reason is because recovery of

declining trees has frequently been documented, so premature removal may eliminate an established crop tree. Another reason for delayed tree removal is to prevent radical light intensity changes to the crowns of adjacent codominant healthy trees. As previously mentioned, sugar maple is susceptible to sunscald and frost cracks. If a declining tree does not recover, it usually takes several growing seasons before the entire crown is dead. This progressive crown deterioration provides a gradual change in the canopy light level to adjacent trees, thereby minimizing light shock and possible associated decline problems. Following a similar logic, avoid removing trees in pockets or groups. The resultant island of full sunlight may precipitate crown dieback of surrounding residual trees. Also, sugar maple seedling growth requires partial shade; full sunlight will encourage the establishment of other tree species or cause a proliferation of ground vegetation which may strangle tree seedlings.

10. **Sanitation**

Keeping the bush clean helps to keep it healthy. Remove felled trees from the bush, buck them up and pile the wood in a central location. Watch for bark beetles, these can be a vector for other decay organisms which may re-infect standing timber. An insecticide application to the wood pile may be required, a maintenance procedure made much easier if the timber has been skidded and piled in a single location. Remember to work in the winter and minimize skid trails and site disturbance. Cankered trees are candidates for removal when selecting trees for thinning. Cankered wood should not be stockpiled. This material should be burned to inhibit the spread of canker diseases.

11. **Maple Syrup Production, Some Special Considerations**

Tapping a tree is an additional stress, how much of a stress, however, is difficult to quantify. Estimates vary widely, but it is likely that tapping removes between 5% and 10% of the sap volume, although this may only be about 5% of the tree's total energy reserves.

Each tap hole destroys a portion of the sapwood in the vicinity of the tapping wound. After the tapping season, the affected section of sapwood will never again conduct sap or store the tree's energy reserves. It is dead wood. Healthy trees quickly and effectively "wall off" the wound area around the tap hole to prevent invading fungi from gaining access to the interior sapwood and possibly spreading within the tree. Less thrifty trees have less efficient defence mechanisms and the resultant wound area may be much larger than the area immediately around the tap hole. Therefore, do not tap trees which develop stress or decline symptomology and tap conservatively. Even though common tapping rules suggest an increasing number of taps with increasing tree size, consider a maximum of one tap per tree. If more taps are required, tap more trees instead of installing more taps per tree. Do not cluster the tap holes, spread them out in a helical pattern around the tree so that there is less likelihood of tapping dry wood in subsequent seasons or the internal wounds coalescing to girdle the tree. Since tapping is an additional stress, do not tap in a year when the trees have or will be experiencing other significant environmental stresses. These would include springs following exceptionally cold winters or winters with very little snow, the season following a drought or insect defoliation or the year when, based on government surveys, an insect defoliation is predicted. It is better to forfeit a season's profit than invest the necessary resources and obtain only a marginal return, or worse impose an additional stress on an already overstressed ecosystem and so possibly contribute to an impending decline situation.

A doctor uses a clean needle with every injection or blood test, similarly, a clean drill bit and spigot should be used for every tap hole. Disinfect the drill bit thoroughly between tap holes to minimize the possibility of spreading disease from one tree to another. Drill the tap holes or a very slight upward angle so that when the tap is removed, drainage is out of and not into the hole. This lessens the likelihood of decay fungi becoming established. Disinfection can be accomplished with 95% denatured alcohol or Javex cut 5:1 with water (i.e. 5 parts water to 1 part Javex).

Tapping with tube has obvious advantages over traditional bucket collection; however, there are additional factors which make tubing the preferred methodology. There is a greater economy of scale with tube. It is considerably less costly per tap to increase the number of taps. But don't increase the number of taps per tree, rather increase the number of trees tapped. Also, tube collection does not require the frequent trips to the tree to empty buckets. Therefore, there is much less driving and walking around in the bush in the early spring and so less potential for root damage through surface soil disturbance.

12. **Fertilization and Liming**

Will fertilization or liming reduce the severity of hardwood decline, or initiate recovery in a bush which is currently experiencing decline? Some success has been achieved in reducing decline symptomology in studies in Europe and Quebec(8). A popular theory on the cause of forest decline suggests forest soils are being leached of essential nutrients by atmospheric pollutants faster than the forest/soil ecosystem can replace the necessary elements, thereby initiating nutritional stress on the trees. Even if changes in site fertility are not directly associated with tree decline, an increase in tree vigour and health may be achieved through fertilization, particularly where nutrient levels are less than optimal. Healthy, vigorously growing trees are less likely to be as severely affected by other stresses, including atmospheric pollutants.

However, fertilizer applications must be made with reference to the soil pH and in balanced combinations to avoid possible adverse effects on tree health. For example, acidic soils (low pH) may increase the availability of nutrients already in mineral form but the microbial activity necessary to decompose forest litter is usually inhibited, thereby slowing the rate of forest nutrient cycling. In addition, acidic soils have higher levels of Al which

may damage roots and interfere with nutrient uptake. Adding lime to raise soil pH will stimulate microbial decomposition and reduce Al availability, but the relative availability of mineral nutrients will also be lowered.

Researchers at Macdonald College of McGill University in Montreal have initiated a "Maple-Aid" program with the objective of developing sugar maple fertilization guidelines for the province's maple syrup producers. They found the following sugar maple foliar concentrations represent normal and critical/deficiency levels for trees in Quebec:

| Element | Normal | Critical/Deficiency |
|---|---|---|
| N | 2.19% | 1.5% |
| P | 0.13% | 0.08% |
| K | 0.7% | 0.6% |
| Ca | 1.10% | 0.7% |
| Mg | 0.12% | 0.09% |

(from W. Hendershot and A. Jones personal communication).

In addition, foliar Al concentrations greater than 0.009% (90 ppm) may be potentially toxic. The McGill researchers further suggest that either lime ($CaCO_3$) or dolomitic lime (Ca, $MgCO_3$) be used to raise the pH of acidic soil and that $K_2SO_4$ be used to lower soil pH if necessary. Altering the soil pH is often insufficient because nutrient availability will also change in relation to soil chemistry. Therefore, if foliar nutrient concentrations are below the normal levels (as determined by the above chart) and lime is used to raise soil pH, then additional fertilizers should also be added to maintain or increase the level of nutrient availability.

The McGill researchers suggest applications of lime and fertilizers should be done as soon as the ground is free of snow in the spring and that application rates of lime and/or $K_2SO_4$ should not exceed 400 kg/ha. Too much lime not only decreases the

availability of macronutrients but also inhibits mycorrihizae on tree roots, which may lead to decreased uptake of the micronutrients boron (B) and manganese (Mn). Therefore, B and Mn may be a beneficial additive to the fertilizer mix, in addition to other macronutrients, to be used in conjunction with a liming regime.

An overapplication of fertilizer is not recommended. Trees tend to take up what they can and not necessarily what they need. Too much N has been shown to delay cold weather hardiness and therefore increases the risk of frost damage in the fall.

Fertilization of woodlands imposes a significant cost and effort to the owner, and although it has shown some promise in recent trials, the results are not certain on all sites. Knowledge of soil and foliar chemistry for the woodlot is necessary to develop a quantitative fertilizer program. The chemical information is often difficult or costly to obtain and reliable data depends on the collection representative samples. A simpler approach would be to establish lime/fertilizer trials in the woodlot to determine what appears to work best for a specific site. This is more time-consuming and requires several seasons of careful treatment and observation but will yield results which should indicate the best combination for an individual woodlot and may prevent a significant expenditure on a general fertilizer program which may not work as well.

## Conclusions

Although maple decline is currently a concern in certain regions of Ontario it is not, at present, as extensive or severe a problem as is now being experienced in Quebec. Baseline surveys have been completed which allow Ontario researchers to accurately monitor future deterioration or improvement in the province's hardwood forests. Ongoing research will continue to investigate the relationships between the forest ecosystem and atmospheric pollution. Results to date suggest

that atmospheric pollution is an additional stress imposed on a terrestrial system which has already been over-stressed by a series of concurrent or sequential natural phenomena such as defoliating insect epidemics, adverse climate and root rot fungi.

Even though 33% of Ontario maple syrup producers who responded to a recent survey stated that in their opinion maple decline is currently a problem in their sugar bush, production statistics provided by the same survey revealed that sap volume, sap sweetness and overall productivity had not changed significantly in the last five years. Therefore the current level of maple decline in Ontario does not appear to be adversely affecting the maple syrup industry.

## Acknowledgements

The success of a research program hinges on the integrated skills of many professional and technical staff. The MOE forest decline research team includes Bill McIlveen, pathologist, Dianne Corrigan, soil scientist and Sam Linzon, Phytotoxicology Section Manager. Rob Arnup of Ecological Services for Planning Ltd., was the project manager for the MOE sponsored forest survey and growth studies. Don MacIver, Harvey Anderson and Dave Fayle (MNR) provided valuable assistance. Archie Jones and Willy Hendershot of McGill University deserve recognition for their work with hardwood fertilization. John Butler (OMAF) and the members of the Ontario Maple Syrup Producers Association were helpful in providing study sites. My thanks to these people, and many more who have helped us in the past and will continue to assist us in our ongoing research into the relationship between forest decline and atmospheric pollutants.

Literature Cited

1. Canadian Dept. of Agriculture. 1962. Federal Insect and Disease Survey: 48.

2. Cook, E.R. and K. Peters. 1981. The Smoothing Spline: A New Approach to Standardizing Forest Interior Tree-Ring Width Series for Dendroclimatic Studies. Tree-Ring Bulletin, Vol. 41, 45-53.

3. Fayle, D.C.F. and D. MacIver. 1986. Growth Layer Analysis as a Means of Examining Tree Growth and Development Responses. Proc. of the Mensuration, Growth and Field Instruments and Methods in Forest Mensuration Workshop. Sept. 23-27, Durham, N.H. US Forest Service. Misc. Publ. 691 : 40-48.

4. Fayle, D.C.F., D. MacIver and C.V. Bentley. 1983. Computer Graphing of Annual Ring Widths During Measurement. The Forestry Chronicle, Dec. : 291-293.

5. Fritts, H.C. 1971. Dendroclimatology and Dendroecology. Quaternary Research 1 : 419-449.

6. Gagnon, G., L. Robitaille, L. Roy and C. Gravel. 1985. Dieback in Maple Stands - the Behaviour of Some Ecological Variables. Presented at the NATO Advanced Research Workshop on Effects of Acidic Deposition and Air Pollutants in Forests, Wetlands and Agricultural Ecosystems. Toronto. pp. 1-17.

7. Hartley, C. and T.C. Merriel. 1915. Storm and Drought Injury to Foliage of Ornamental Trees. Phytopathology 5 : 20-29.

8. Hendershot, W. and A.R.C. Jones, Macdonald College of McGill University, Montreal, Quebec, personal communication.

9. Linzon, S.N., R.G. Pearson, J.A. Donnan and F.N. Durham. 1984. Ozone Effects on Crops in Ontario and Related Monetary Values. Ontario Ministry of the Enviornment. Report No. ARB-13-84-Phyto. pp. 65.

10. MacIver, D. Ontario Ministry of Natural Resources. Personal communication.

11. Manion, P.D. 1981. Decline Diseases of Complex Biotic and Abiotic Origin. Tree Disease Concepts, Prentice-Hall Inc., Englewood, N.J. 324-339.

12. McIlveen, W.D., S.T. Rutherford and S.N. Linzon. 1986. A Historical Perspective of Sugar Maple Decline Within Ontario and Outside Ontario. Ontario Ministry of the Environment. Report No. ARB-141-86-Phyto.

13. McLaughlin, D.L., S.N. Linzon, D.E. Dimma and W.D. McIlveen. 1985. Sugar Maple Decline in Ontario. Ontario Ministry of the Environment. Report No. ARB-144-85-Phyto.

14. Nordin, V.J. 1954. Studies in Forest Pathology. XII. Decay in Sugar Maple in the Ottawa-Huron and Algoma Extension Forest Region of Ontario. Canadian J. Botany, 32 : 221-258.

15. Norton, P. 1985. Decline and Fall. Harrowsmith. 60 : 24-35.

16. Rowe, J.S. 1972. Forest Regions of Canada. Dept. of Fisheries and the Environment. CFS Pub. No. 1300.

17. Tang, A.J.S., A. Ahmed and M.A Lusis. 1986. Summary: Some Results from the APIOS Atmospheric Deposition Monitoring Program (1981-1984). Ontario Ministry of the Environment. Report No. ARB-110-86, APIOS-011-86. p.33.

18. Wargo, P.M. and D.R. Houston. 1974 Infection of Defoliated Sugar Maple Trees by Armillaria mellea. Phytopathology. 64 : 6, 817-822.

TABLE 1 - Summary of Causal Agents Associated with Sugar Maple Decline in NE North America*

| Causal Agent | % of Reports** |
|---|---|
| Armillaria root rot | 5.8 |
| Other diseases | 13.8 |
| **Total diseases** | **19.6** |
| Forest tent caterpillar | 7.4 |
| Nematodes | 2.6 |
| Other insects | 9.6 |
| **Total Insects** | **19.5** |
| Adverse climate | 10.6 |
| Drought | 6.9 |
| **Total climate** | **17.5** |
| Salt | 5.3 |
| Herbicide | 2.6 |
| Air pollution | 2.2 |
| Acid rain | 2.1 |
| **Total pollution** | **12.2** |
| Cultural practices | 3.2 |
| Mechanical injury | 2.6 |
| Nutrient deficiency | 2.2 |
| Unknown causes | 15.3 |
| Other causes | 7.9 |

* Adapted from McIlveen and Rutherford, 1986.
**Based on 189 published reports of maple decline in NE North America.

TABLE 2 - Mean Decline Index (all species) for Each Forest Section*

| Forest Region | Forest Section* | | Mean Decline Index | No. of Plots | % of Total |
|---|---|---|---|---|---|
| GL-St.L | 4A | Laurentian | 10.3 | 2 | 1.8 |
| GL-St.L | 1 | Huron-Ontario | 10.9 | 18 | 16.4 |
| GL-St.L | 2 | Upper St. Lawrence | 12.5 | 9 | 8.2 |
| GL-St.L | 4C | Middle Ottawa | 13.6 | 6 | 5.5 |
| GL-St.L | 4B | Algonquin - Pontiac | 14.0 | 16 | 14.5 |
| Decid. | 1 | Niagara | 14.4 | 20 | 18.2 |
| GL-St.L | 11 | Quetico | 15.3 | 3 | 2.7 |
| GL-St.L | 10 | Algoma | 15.5 | 11 | 10.0 |
| GL-St.L | 4E | Sudbury - North Bay | 15.7 | 13 | 11.8 |
| GL-St.L | 4D | Georgian Bay | 17.3 | 12 | 10.9 |
| | Total | | | 110 | 100.0 |

*As defined by Rowe, 1972, there are only two forest regions in Ontario, the Great Lakes St. Lawrence (GL-St.L) and the Deciduous (Decid), whereas there are 10 forest sections within the forest regions.

TABLE 3 - Mean Decline Index for 16 Hardwood Tree Species in Ontario

| Tree Species | Mean Decline Index | Sample Size | % of Survey Total |
|---|---|---|---|
| Black ash | 11.3 | 39 | 0.37 |
| Butternut hickory | 11.5 | 93 | 0.89 |
| Sugar maple | 12.4 | 8227 | 78.34 |
| Beech | 13.8 | 333 | 3.17 |
| Basswood | 18.2 | 332 | 3.16 |
| White ash | 18.7 | 407 | 3.88 |
| Yellow birch | 20.5 | 180 | 1.71 |
| Red maple | 20.6 | 334 | 3.18 |
| Red oak | 22.1 | 159 | 1.51 |
| White birch | 23.4 | 109 | 1.04 |
| Trembling aspen | 26.8 | 59 | 0.56 |
| Butternut | 28.9 | 5 | 0.05 |
| Black cherry | 30.5 | 175 | 1.67 |
| Balsam poplar | 32.2 | 34 | 0.32 |
| White elm | 44.1 | 11 | 0.10 |
| White oak | 49.4 | 5 | 0.05 |
| Total | | 10502* | 100.0 |

*The missing 498 trees are conifers, which were not assessed.

Species with sample size less than 100 are probably not representative of provincial conditions.

TABLE 4 - Sugar Maple Ring Widths and Atmospheric Pollution Loadings for Three Areas in Ontario

| Area | Average Ring Width* 1905-1944 | 1945-1984 | % Difference pre/post 1945 | Atmospheric Pollution Loading $SO_4$** | N** | $O_3$*** | pH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Thunder Bay | 1.15 | 1.08 | - 6.1 | 12 | 3 | <20 | 4.8 |
| Muskoka | 1.23 | 1.10 | -10.6 | 34 | 9 | 40 | 4.2 |
| Peterborough | 1.24 | 1.07 | -13.7 | 43 | 8 | 50 | 4.2 |

* Indexed ring values, using a de-trending function, after Fritts 1966.

** Total wet and dry deposition, mean from 1981-1984, after Tang et al., 1986.

***7 hr. daylight average (0900-1600 EST) June to August, mean from 1974-1981, after Linzon et al., 1984.

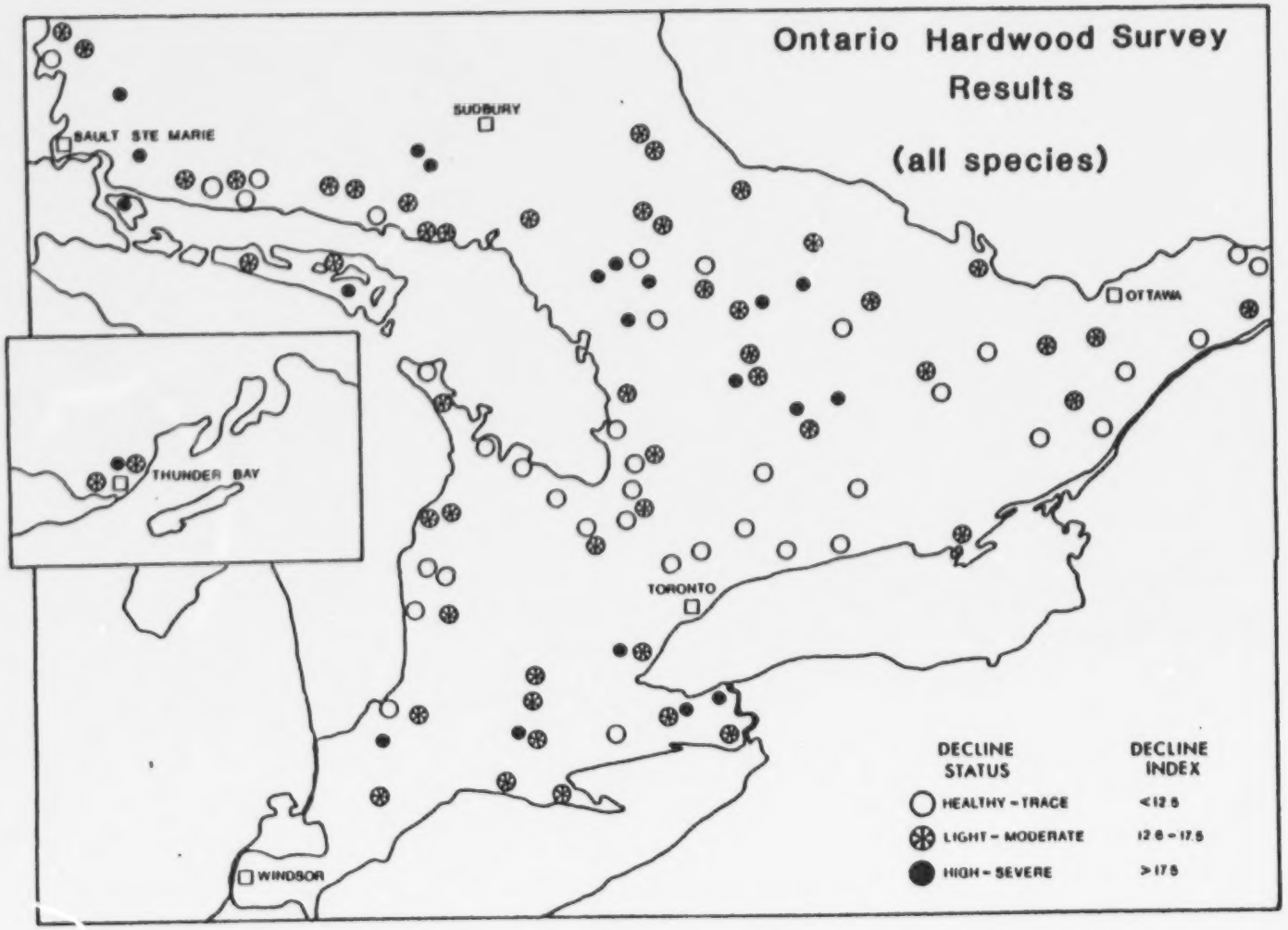
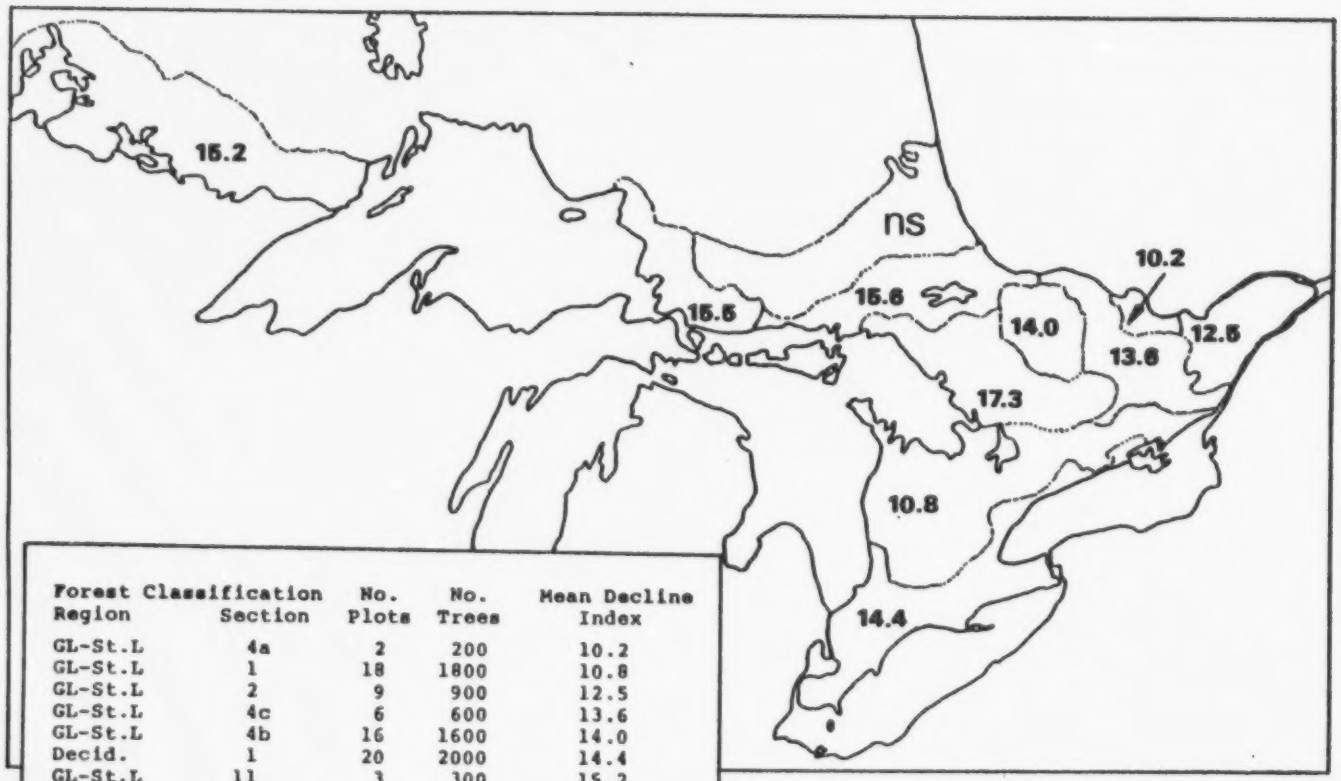



Figure 1: Results of Ontario Hardwood Decline Survey Conducted in 1986 (110 plots, 11000 trees).




| Forest Classification Region | Section | No. Plots | No. Trees | Mean Decline Index |
|---|---|---|---|---|
| GL-St.L | 4a | 2 | 200 | 10.2 |
| GL-St.L | 1 | 18 | 1800 | 10.8 |
| GL-St.L | 2 | 9 | 900 | 12.5 |
| GL-St.L | 4c | 6 | 600 | 13.6 |
| GL-St.L | 4b | 16 | 1600 | 14.0 |
| Decid. | 1 | 20 | 2000 | 14.4 |
| GL-St.L | 11 | 3 | 300 | 15.2 |
| GL-St.L | 10 | 11 | 1100 | 15.5 |
| GL-St.L | 4e | 13 | 1300 | 15.6 |
| GL-St.L | 4d | 12 | 1200 | 17.3 |
| | | | 11000 | 13.9 |

forest classification after Rowe, 1972
ns region not surveyed

Figure 2: Regional Decline Index, Based on Ontario Hardwood Decline Survey. Regions are Forest Sections as Classified by Rowe (1972).

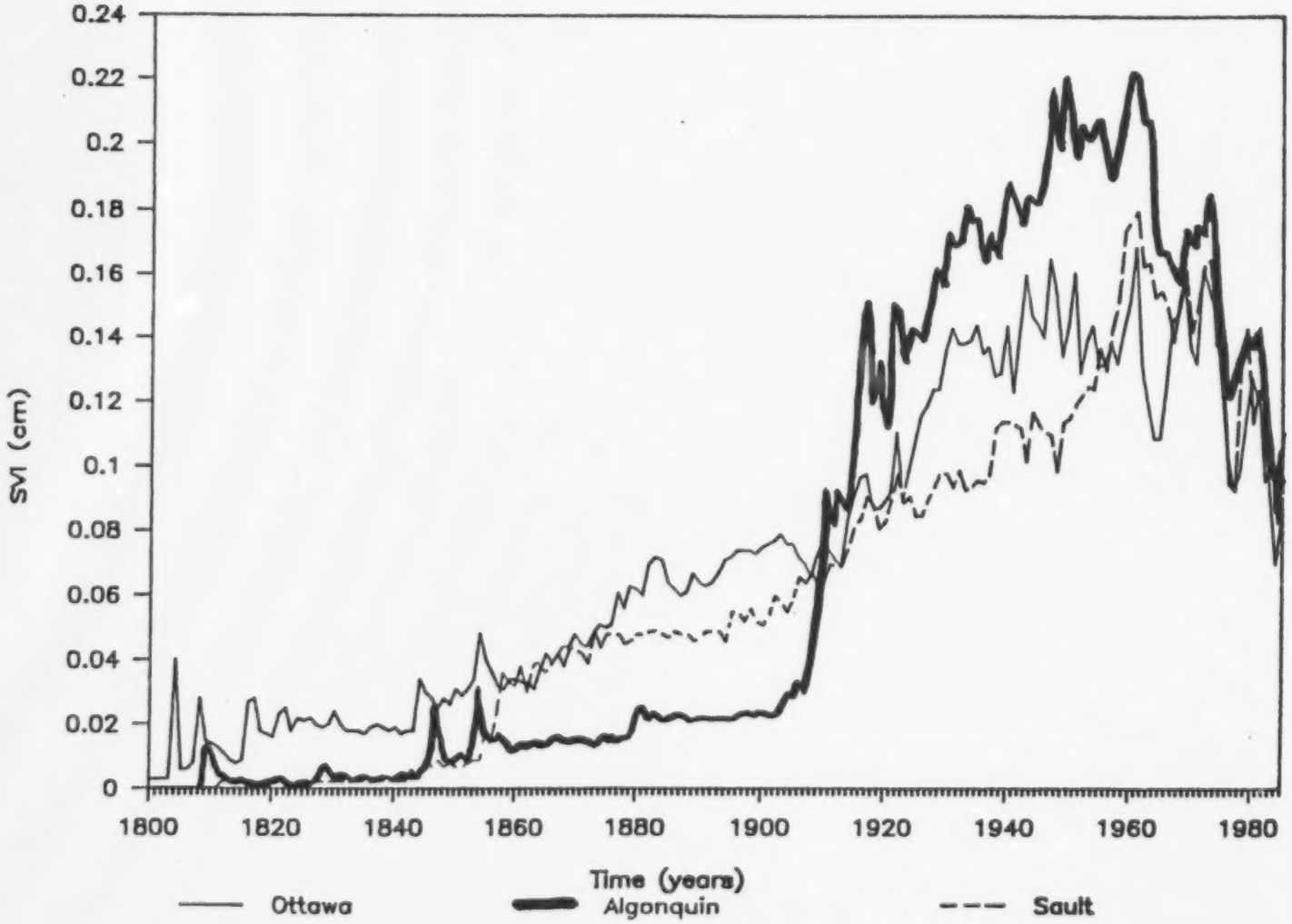



Figure 3: Average Specific Volume Icrement Curves for Sugar Maple from 3 Regions in Ontario.

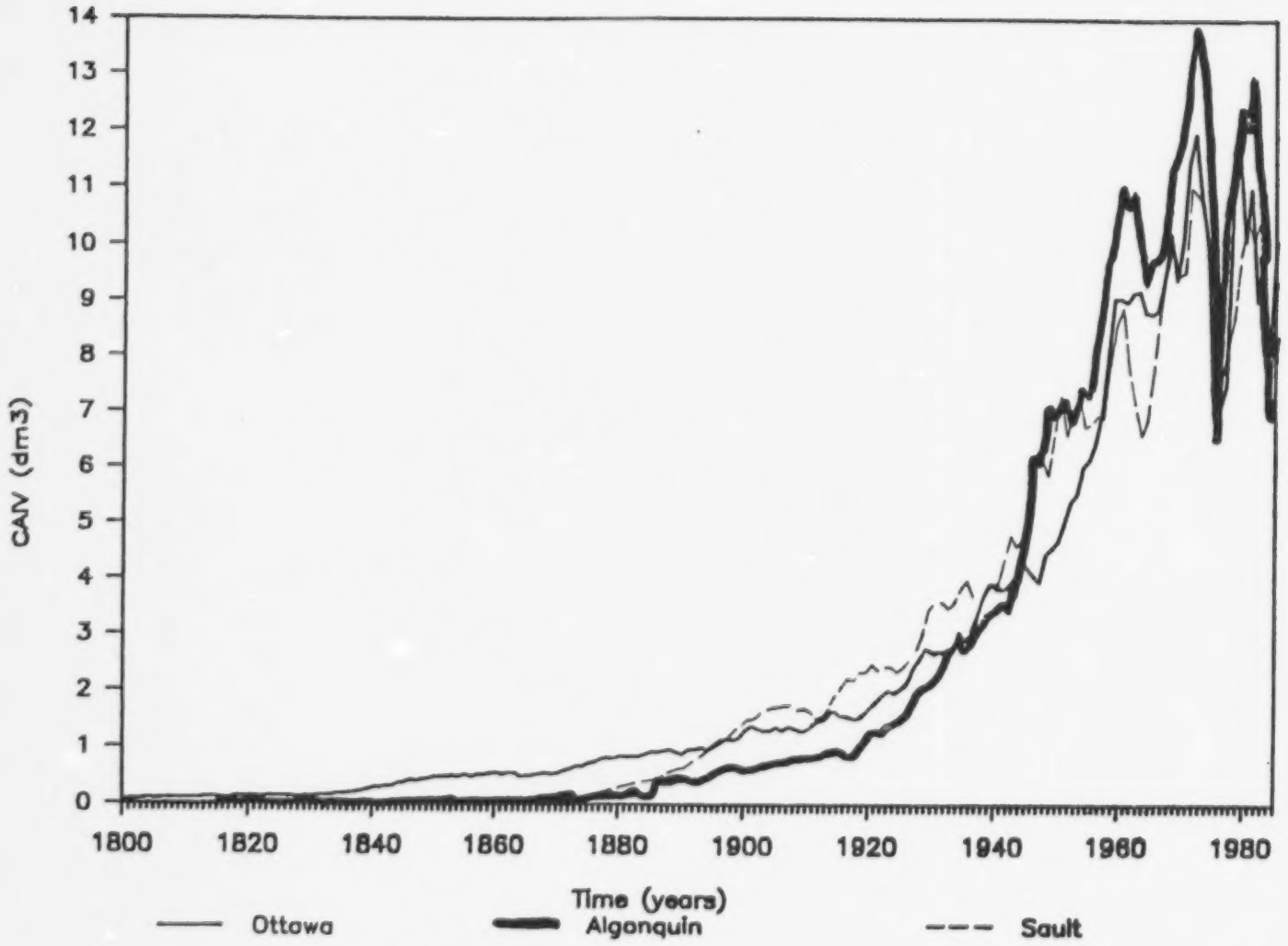



Figure 4: Average Current Annual Volume Increment Curves for Sugar Maple from 3 Regions in Ontario.

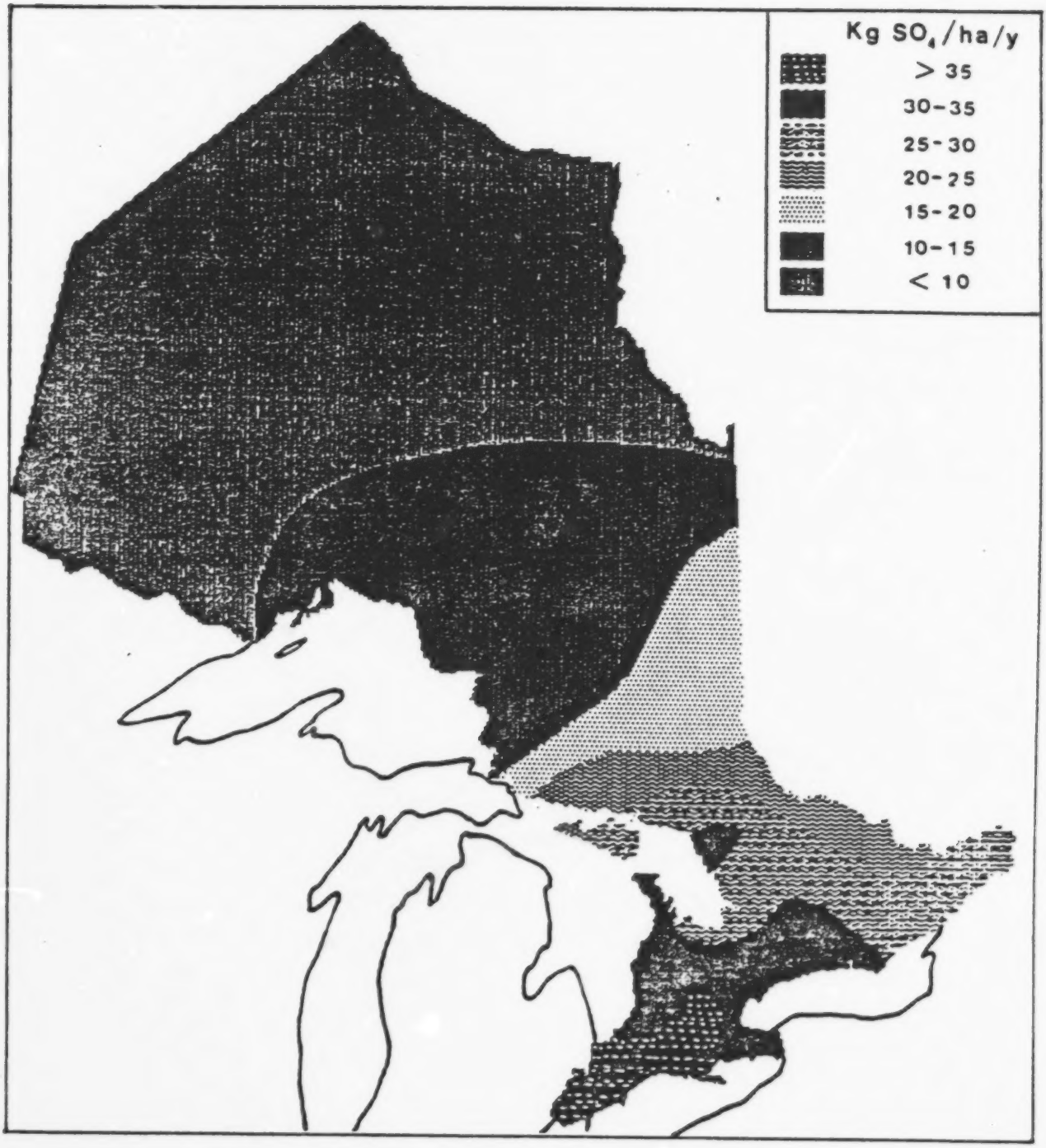



Figure 5: Wet Sulphate Deposition in Ontario (mean 1981-1984).

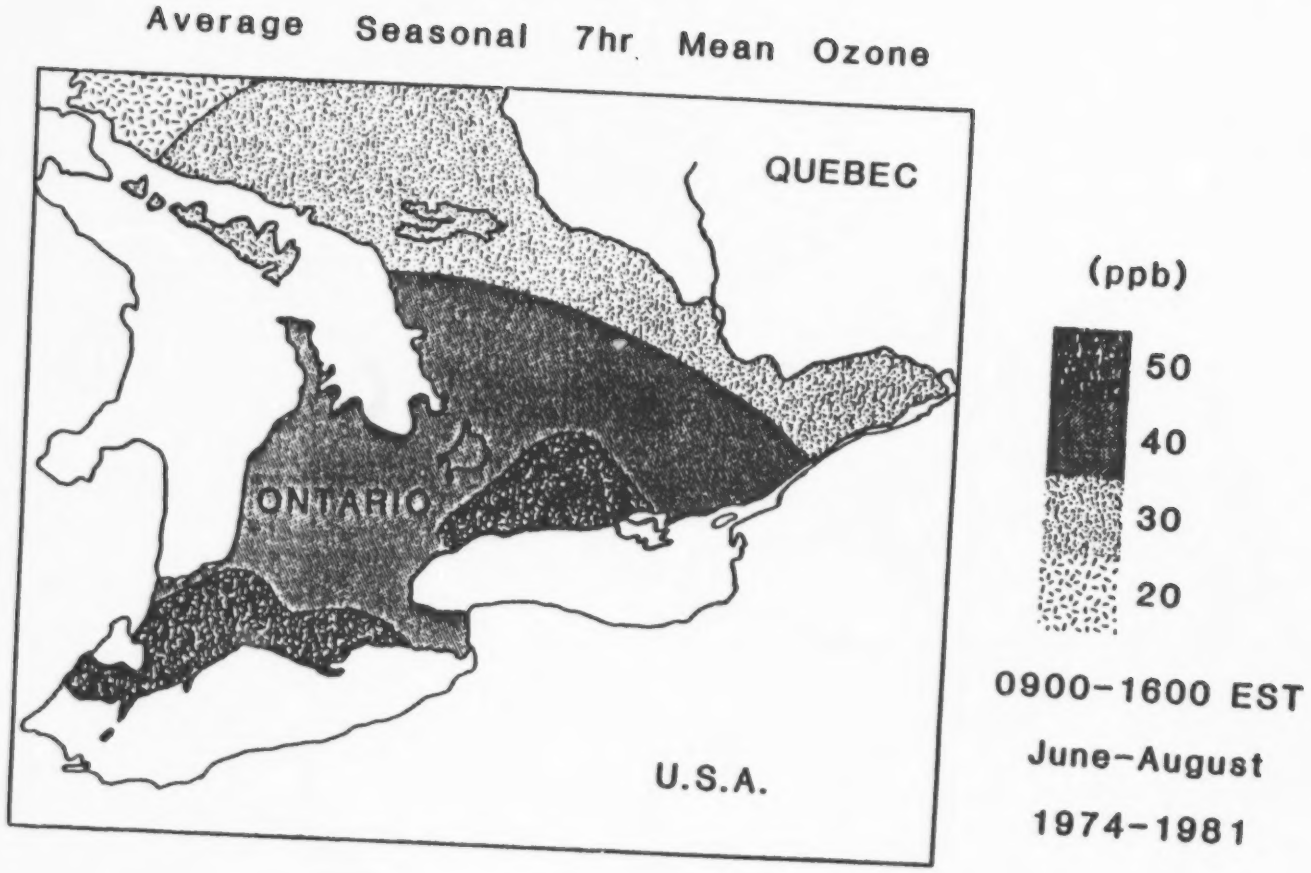



Figure 6: Growing Season Daylight Ozone Concentrations in Ontario (mean 1974-1981)

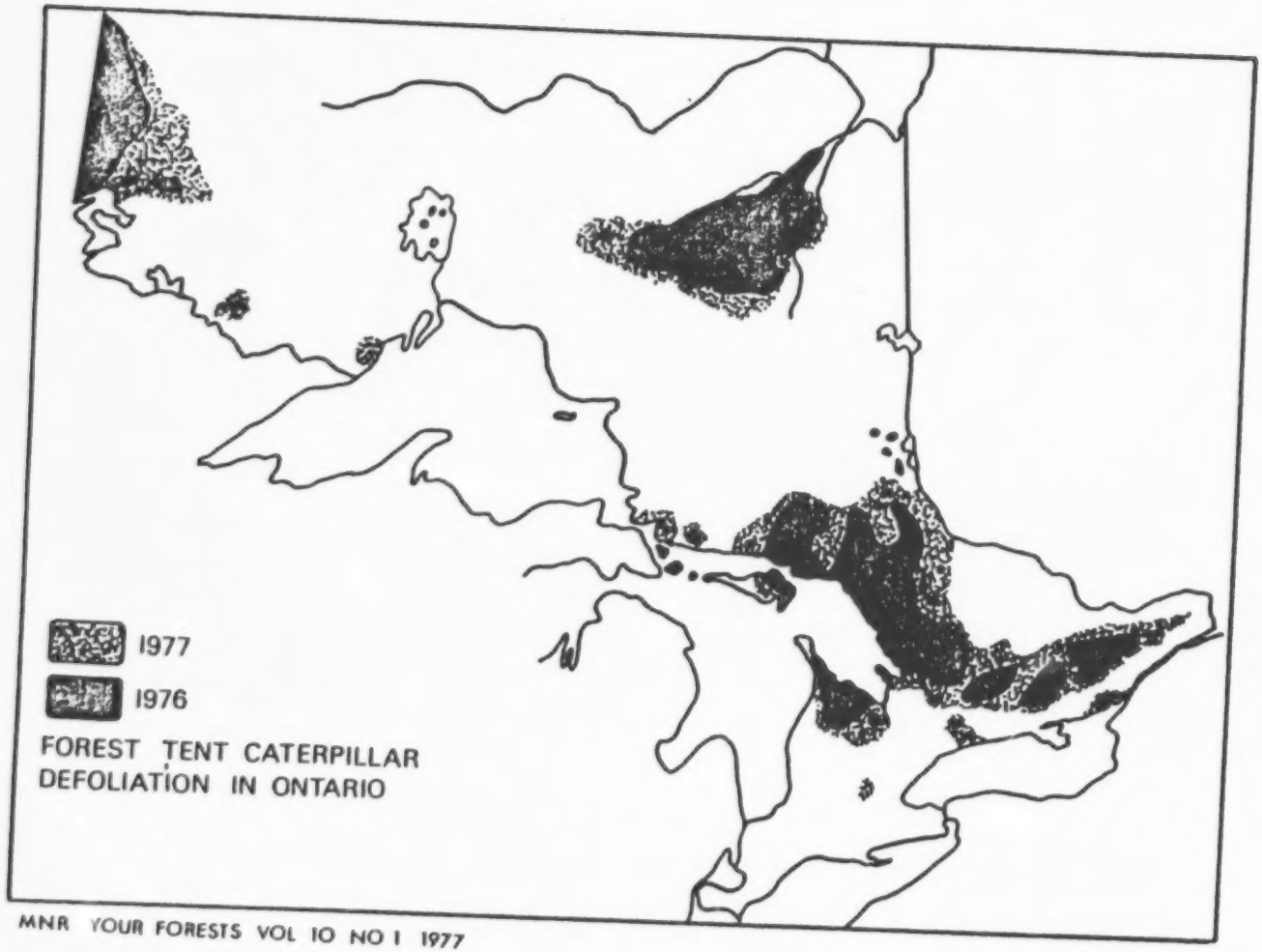



Figure 7: Extent of Forest Tent Caterpillar Defoliation in Ontario in 1976 and 1977.

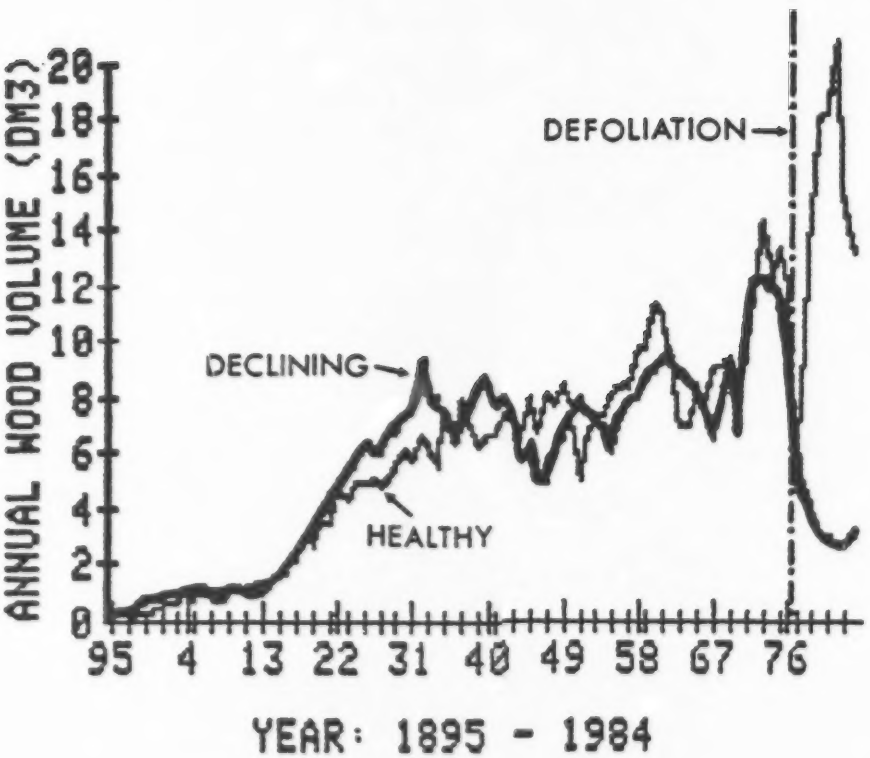



Figure 8: Annual Volume Increment of 2 Sugar Maple Trees at a Study Plot Near Dorset Ontario. The Trees were the Same Age (within 5 years), Co-dominant, and Were Growing in the Same Soil and Site. Based on Observations in 1984, One was Healthy and the Other was in a Moderately Severe State of Decline.

# SUGAR MAPLE DECLINE IN NEW BRUNSWICK
## A Status Report - Spring 1987

-B. A. Pendrell, D. O'Brien2, W. Hamilton2 and J. Tims3

Forest declines are not new to New Brunswick or eastern North America. Birch decline, especially of yellow birch was pronounced during the 1930s to 1950s, sugar maple dieback was described in the 1930s, 40s, 60s and 70s and other species such as black ash and oak have declines documented.

Most declines are poorly understood as there is rarely one single inciting factor but often a complex of factors operating at variable levels over time which alter tree condition, eventually leading to the obvious decline of a species in the forest.

The current condition of sugar maple in New Brunswick has been examined over the last two years through questionnaire surveys of sugar-bush owners and stand evaluations by personnel of the Canadian Forestry Service, the New Brunswick Department of Natural Resources and Energy and the New Brunswick Department of Municipal Affairs and Environment.

Trees have been found in a deteriorated condition in parts of New Brunswick but are in excellent condition in other areas (Figure 1). Among the possible factors which may have caused the tree condition which we have observed, the best understood is the outbreak of the forest tent caterpillar which occurred from 1979 to about 1984, throughout the areas where dieback is observed.

---

1. Canadian Forestry Service-Maritimes
2. N.B. Dept. Natural Resources & Energy
3. N. B. Dept. Municipal Affairs & Environment

We know that some of the dieback observed on our sugar maples has been caused by the forest tent caterpillar, the question is how much. Other forest insects, such as the bruce spanworm and the fall cankerworm have been serious defoliators of New Brunswick maple during the last decade, yet their roles in forest damage are even less understood.

Studies of maple decline in Ontario and Quebec have implicated air pollutants, in particular acid rain and ozone, as causal factors in decline of sugar maple. Results of precipitation chemistry monitoring in New Brunswick show that sulfate deposition in rural areas ranges from 11.0 to 27.4 kg/ha/yr. New Brunswick forests are, therefore, typically exposed to much lower sulfate deposition than levels of 40 kg/ha/yr reported to occur in the most severely declining areas of Quebec, although it is known that sulfate deposition in the vicinity of local sources of air pollutants in New Brunswick can reach this level. Monitoring data show that New Brunswick forests are exposed to ozone at concentrations known to be phytotoxic to sensitive species. The study group will continue investigations in 1987 in order to describe the extent and rate of sugar maple decline in the province, to investigate possible causes and to examine the consequences of mitigative action.

An aerial survey over a portion of the province will help define the nature of the New Brunswick situation and a further examination of the role of insects and diseases is proposed. The impact of ozone and acid deposition will be evaluated for healthy

and declining maple stands, comparing measured concentrations of pollutants with measurements of maple decline at up to eight permanent plots. Plots will also be established in stands with varying crown density levels in order to ascertain whether silvicultural thinning levels play a significant role in the augmentation of the dieback syndrome. Foliar analysis samples will be taken and the results used in small scale experiments to determine if fertilization of sugar maple stands under given circumstances will diminish the effect of maple dieback.

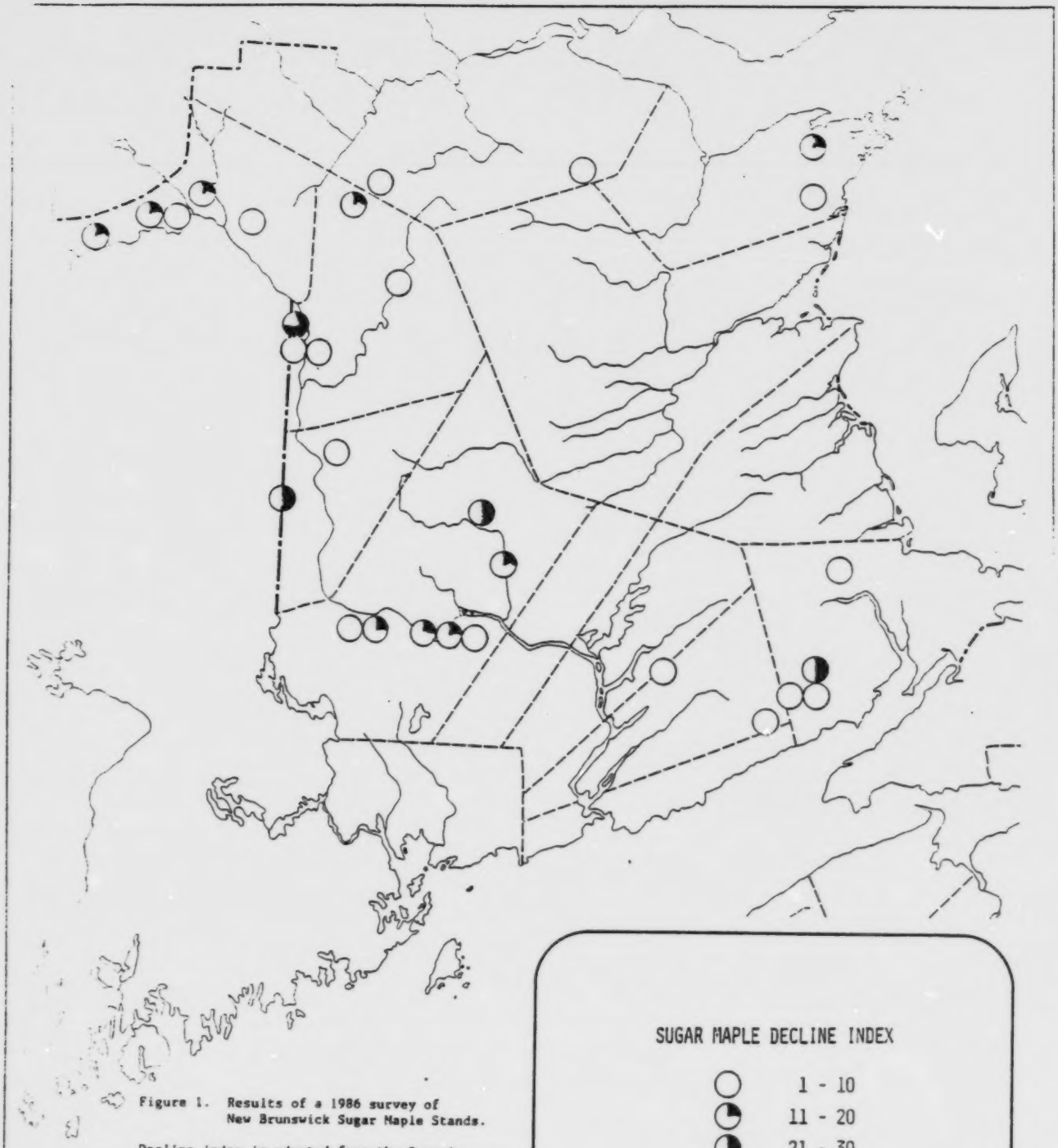



Figure 1. Results of a 1986 survey of New Brunswick Sugar Maple Stands.

Decline index is adapted from the Ontario Minister of Environment formula, incorporating the variables; dead branches, undersized leaves strong chlorosis, slight chlorosis.

Values shown are the average of index values for all trees tallied on each site.

Maximum index value possible = 162.5. A tree with 1/2 of its crown dead would have a value greater than 50.

*Compte rendu du séminaire sur le dépérissement de l'érable*

tenu dans le cadre de la rencontre

***L'Érable en fête, édition 1987,***

Grand-Sault, Nouveau-Brunswick
Le 12 juin 1987

## INTRODUCTION

L'Érable en fête 1987, qui a eu lieu les 12 et 13 juin derniers, était la première rencontre d'envergure internationale du genre organisée au Nouveau-Brunswick. Elle était le résultat des efforts combinés du Service de consultation forestière du ministère des Ressources naturelles et de l'Énergie du Nouveau-Brunswick et de la Coopérative des acériculteurs du Nouveau-Brunswick Ltée.

Outre le séminaire sur le dépérissement de l'érable, l'événement a été le cadre d'une exposition de matériel, d'ateliers de nature technique sur l'entaillage, le système vacuum et les canalisations, du cinquième concours annuel sur les produits de l'érable du Nouveau-Brunswick, des Olympiades de l'érable, d'un banquet et d'une soirée de danse.

Veuillez trouver ci-joint les textes intégraux des trois exposés faits pendant le séminaire, de même qu'un sommaire de la rencontre rédigé par M. Don O'Brien, expert provincial en acériculture.

En outre, nous avons annexé à la présente un rapport sur l'état des érablières du Nouveau-Brunswick relativement au dépérissement. Ce rapport a été rédigé par une équipe fédérale-provinciale qui effectue des travaux de recherche sur ce phénomène dans la province. Ce document n'a pas été présenté au cours de la rencontre, mais nous avons cru bon de vous le faire parvenir afin que vous puissiez profiter des renseignements les plus récents à ce sujet.

Glen Blouin
Agent de l'éducation
Service de consultation forestière

## SÉMINAIRE SUR LE DÉCLIN DES PEUPLEMENTS D'ÉRABLES - SOMMAIRE

Plusieurs hypothèses ont été avancées, aucune n'étant concluante. L'explication la plus vraisemblable veut que l'arbre subisse un stress pendant un premier temps avant que les insectes, les champignons et autres facteurs de stress dus au milieu naturel ne viennent s'attaquer aux branches et ne menacent la survie de l'arbre tout entier.

Le premier dossier, présenté par M. A. R. C. Jones, dresse une rétrospective du déclin des érables au Québec et en Ontario et trace les grandes lignes des implications des dégâts causés par les insectes et autres stress causé par l'environnement. M. Jones montre que l'effet cumulatif d'un certain nombre de facteurs de stress concurrents constitue probablement le déclencheur du processus de dépérissement des érables, lequel aboutit à la mort des arbres.

L'auteur étudie les effets de la pollution atmosphérique en se basant sur des expériences effectuées en Europe. Quatre des principaux effets de la pollution atmosphérique sont exposés dans leurs éventuelles interactions conjuguées.

M. Jones et son collaborateur, M. W. Hendershot, ont mis au point une méthode de "diagnostic" permettant d'analyser les déséquilibres se produisant entre le feuillage des arbres et la composition des sols. Ces deux chercheurs estiment que leur approche peut sauver une érablière. Il convient cependant de signaler que les travaux en sont encore au stade de la recherche et qu'ils devront subir l'épreuve des essais systématiques. Dans l'intervalle, la méthode que les deux chercheurs ont mis au point peut contribuer à maintenir une érablière en vie jusqu'à ce que les causes et les effets du dépérissement des érables soient mieux connus et traités.

Le deuxième dossier, présenté par M. Gilles Gagnon, étudie la progression du phénomène de dépérissement des érables au Québec par rapport au même phénomène se produisant dans d'autres provinces. Des textes et des tableaux illustrent cette propagation et en montrent les symptômes. Détail intéressant, ce sont tous les bois francs d'un peuplement qui souffrent de dépérissement, et non pas seulement les érables.

L'auteur affirme que le seul facteur capable d'avoir causé le dépérissement des érables est la pollution atmosphérique. D'autres facteurs peuvent avoir contribué au phénomène, mais aucun ne peut être désigné comme agent unique. Diverses mesures sont mentionnées pour enrayer le dépérissement des érables, notamment la réduction, voire l'élimination des travaux d'éclaircissage, la sélection de meilleurs sites de peuplements d'érables à sucre, ainsi que la possibilité d'engraisser les sols.

Le dernier dossier, présenté par M. Dave McLaughlin, montre l'envergure du phénomène de dépérissement des érables en Ontario. Diverses régions de cette province ont connu des périodes de déclin des érables dans le passé, mais, au cours de la dernière période, un territoire très étendu a été frappé, ce qui indique un stress environnemental se produisant également sur un territoire aussi important. Une étude effectuée par le ministère de l'Environnement de l'Ontario en 1984 a conclu que le déclin observé en 1984-1985 dans le centre de cette province était imputable à la défoliation causée par la livrée des forêts au milieu des années 70. D'autres agents ont contribué au déclin des érables, notamment les basses températures printanières, les périodes de sécheresse, l'âge des arbres et la présence de pourridié. Toutefois, les polluants atmosphérique constituent sans aucun doute un stress supplémentaire. M. McLaughlin propose un certain nombre de

mesures destinées sinon à éliminer, du moins à atténuer les effets du dépérissement des érables, soit 1) choix d'un site approprié à l'établissement d'une érablière; 2) maintien de la composition naturelle de la forêt; 3) éclaircissage modéré et maintien d'une densité optimale des peuplements; 4) réduction au minimum des activités de débusquage et des dommages causés aux racines; 5) restriction de l'accès aux boisés comme une zone de pâturage; 6) fertilisation et chaulage, enfin, sont également de nature à protéger les érablières contre le dépérissement.

# LE DÉCLIN DES ÉRABLES :

## SON ÉVOLUTION ET QUELQUES MESURES CORRECTIVES

A. R. C. Jones et W. Hendershot

### Introduction

À l'automne 1982, on a observé dans certaines érablières du sud du Québec un dessèchement généralisé des érables à sucre et un taux de mortalité élevé de ces arbres (Acer saccharum, Marsh). À la demande de Jean-Claude Mercier, sous-ministre adjoint, une équipe de spécialistes a donc été mise sur pied par le ministère de l'Énergie et des Ressources (MER) afin d'effectuer des recherches sur l'étendue de la maladie et d'établir ses causes (Carrier, 1986). Il semble que les ravages les plus importants causés par ce phénomène aient été concentrés surtout dans le comté de la Beauce, même si, dans les comtés voisins de Mégantic, Frontenac et Arthabaska, on a signalé également un taux anormalement élevé de mortalité des arbres. Le Service de la protection contre les insectes et les maladies a donc rédigé des rapports sur la maladie (Gagnon et coll., 1985; et Robitaille et coll., 1984). Au Québec, on appelle cette maladie des érables "dépérissement". En Ontario, on l'a d'abord nommée "dieback" (dépérissement terminal) (Griffin, 1965), et un premier rapport sur ce sujet a été rédigé dans le comté de Grey en 1952 (Lake Huron District Report, Ontario Lands and Forests). À cette époque, les symptômes associés au dépérissement terminal de l'érable en Ontario étaient : 1) éclaircissement du feuillage, rétrécissement fréquent des feuilles et traces de nécrose intervasculaire de celles-ci; 2) brunissement marginal des feuilles suivi par une chute précoce de ces dernières à l'automne; 3) pigmentation prématurée du feuillage à l'automne; et 4) décès des jeunes pousses suivi par un dépérissement progressif d'une partie ou de l'ensemble de la couronne. Le dépérissement terminal n'attaque que les arbres ayant un DHP supérieur

à 6 po. Il s'agit d'une maladie qui évolue lentement et qui ne provoque que rarement la mort de l'arbre (Griffin, 1965). Au fil des ans, le dépérissement terminal des érables a pu être observé à différentes reprises, dans certaines régions du pays. En 1983, McGauley a été en mesure de décrire le déclin des érables à sucre à la suite de sa réapparition récente. La maladie avait fait sa première apparition dans le district d'Owen Sound en 1976. Dès l'automne 1977, certains arbres étaient morts et un comité de travail sur le déclin des érables était créé afin de prendre des mesures visant à atténuer les répercussions de cette maladie et à en établir les causes. La rapidité à laquelle les arbres mouraient n'était pas conforme à la symptomologie du dépérissement terminal des érables; on a donc nommé ce nouveau phénomène "déclin des érables". La maladie s'est répandue sur environ 28 700 hectares, dont 16 200 hectares d'érables dans le district de Parry Sound et 12 550 dans le district d'Owen Sound. En 1980, l'accroissement des arbres touchés par la maladie était toujours moindre que celui des arbres se trouvant dans des régions adjacentes non touchées par la maladie, mais la plupart des arbres vivants montraient des signes de guérison encourageants (McGauley, 1983). Gross (1981) a également signalé un déclin des érables en Ontario et a indiqué que la superficie totale de forêts d'érables à sucre touchée s'élevait à 28 700 hectares. Sur environ la moitié de cette superficie, plus de 25 % des érables à sucre sont morts... "La plupart des arbres sont morts au cours de la période allant de 1977 jusqu'au début de la saison de croissance de 1978. L'invasion de la livrée des forêts, Malacosoma disstria (Hbn), en cours depuis 1974, a pris fin abruptement en 1978, et depuis ce temps le déclin des érables à sucre a également pris fin."

Au printemps 1984, un certain nombre de producteurs de sirop d'érable de la région de Huntsville-Sundridge (district de Parry Sound), se sont plaints de la mauvaise santé de leurs érables à sucre et des relations possibles entre cet état de santé précaire et les pluies acides. Une méthode de relevé a donc été conçue puis le relevé effectué par la Section de phytotoxicologie de la

Direction des ressources atmosphériques du ministère ontarien de l'Environnement. Le but visé était d'analyser les causes du déclin des érables. En outre, au printemps de 1984, un programme de recherches en quinze points a été lancé afin d'évaluer le rôle qu'ont pu jouer les pluies acides lors de la récente épidémie de déclin survenue à Muskoka. Le ministère ontarien de l'Agriculture et de l'Alimentation et celui des Ressources naturelles ainsi que le Service canadien des forêts ont participé à ce relevé effectué par le ministère de l'Environnement (McLaughlin et coll., 1985).

Ce problème a également été signalé dans certaines parties du nord-est des États-Unis. En 1957, une épidémie soudaine d'une maladie qu'on a appelée "blight" (dépérissement) a provoqué la mort de nombreux arbres dans les peuplements d'érables du comté de Florence (Wisconsin) (Skilling, 1959). À la même époque, on a pu observer partout dans le nord-est des États-Unis un nombre élevé de décès et un déclin prononcé des érables à sucre (Zabel et coll., 1958). Plus récemment, des cas de dépérissement terminal des érables, fort semblables à ceux signalés en Ontario en 1957-1958, ont été signalés dans le Michigan (Kessler, 1963). La maladie a été attribuée à plusieurs facteurs, y compris la défoliation attribuable aux insectes suivie de gelées automnales et d'une infection des racines (University of Wisconsin 1964), l'accumulation de sels solubles dans le sol (Lacasse et Rich, 1964), la tendance au réchauffement des zones nordiques tempérées (Hepting, 1960) ainsi que la sécheresse.

L'expérience européenne

Depuis cette époque, l'évolution du déclin des forêts a suscité de plus en plus d'inquiétude particulièrement en Europe, où sont survenus de nombreux décès d'arbres qu'on avait d'abord attribués à une maladie appelée "le mal des hauteurs de l'épinette". Cette maladie s'est répandue dans les montagnes d'Allemagne, de Tchécoslovaquie et de Pologne. Depuis la fin des années 1970, des chercheurs allemands ont étudié ce phénomène de façon intensive et ont

formulé un certain nombre d'hypothèses qui ont été décrites par Schutt et Cowling (1985) et d'autres. Au cours des années 1980, les chercheurs allemands ont démontré que les dommages subis par les arbres étaient en partie attribuables à un manque d'éléments nutritifs dans le sol provoqué par la présence d'acides sulfurique et nitrique. En effet, ces dépôts acides lessivent tout simplement les éléments nutritifs du sol. Ensuite, la nature même des lacunes nutritives varie en fonction de la composition du sol. Zottl et Huttl (1986) ont démontré que les sols acides d'origine granitique se caractérisent par un manque de calcium, de magnésium et de potassium (Tomlinson, 1987). Ces manques sont attribuables à de forts déséquilibres dans les échanges cationiques qui se produisent dans le sol. Les arbres se trouvant sur des sols à modelés glaciaires manquent actuellement de potassium. Ces sols sont de type calcaire et, tout dépendant de leur pH, leur teneur élevée en calcium entraîne un manque de potassium. Ainsi, l'antagonisme calcium-potassium oblige les arbres à se priver de l'un ou de l'autre de ces éléments nutritifs. Zottl et Huttl (1986) ont découvert que lorsqu'on diagnostique ces lacunes chez un groupe d'arbres, il est possible de les revitaliser en fertilisant le sol, c'est-à-dire en y ajoutant les éléments nutritifs manquants dans des quantités suffisantes pour compenser le déséquilibre entre le calcium et le potassium. Étant donné le succès remporté par ces expériences et par d'autres travaux similaires, l'État de Bade-Wurtemberg, en Allemagne fédérale, consacrera 100 millions de dollars à la fertilisation et au reboisement au cours des cinq prochaines années en ajoutant au sol les éléments nutritifs manquants qui auront été identifiés grâce aux analyses du feuillage. Les chercheurs reconnaissent toutefois qu'il ne peut s'agir là que d'une solution temporaire puisque, tant que les dépôts acides ne seront pas réduits de façon importante, le lessivage des éléments nutritifs se poursuivra et les symptômes de dépérissement pourront réapparaître après trois à cinq années. Les sols à modelés glaciaires du nord de l'État de New York et du Québec sont également reconnus pour leur faible

teneur en potassium, comme l'ont signalé Tomlinson (1987) ainsi que Stone et Leaf (1967).

Dans le sud du Québec, un désastre est en cours

Pour en revenir à la situation prévalant au Québec, la plupart des producteurs de sirop d'érable ne vont dans leurs érablières que pour entailler les arbres, récolter la sève, ou encore, abattre les arbres des autres espèces. À quelques exceptions près, l'érablière est ensuite livrée à elle-même. Les producteurs ne se préoccupent pas trop d'améliorer l'espacement entre les arbres producteurs et d'abattre les arbres présentant des défauts ou des maladies ainsi que les arbres d'espèces rivales. Dans de nombreux cas, l'érablière est également utilisée comme un pâturage à faible rendement de fourrage. Jusqu'en 1982, les érables du Québec étaient parvenus à survivre sans trop de difficultés, et ce, malgré la négligence et les lacunes du mode de gestion dont ils faisaient l'objet.

Toutefois, cette situation évolue rapidement et on éprouve une inquiétude de plus en plus grande en ce qui concerne l'avenir à long terme de cette forêt de grande valeur. Le déclin des érables est un phénomène qui se concentre surtout dans la région de la Beauce, même si d'autres comtés environnants sont également touchés (Mégantic, Frontenac, Arthabaska et Wolfe). Pour de nombreux cultivateurs de cette région, la production de sirop d'érable a toujours été vitale, puisque leurs terres arables se prêtent mal à l'agriculture intensive. Les peuplements d'érables du Québec, soumis depuis longtemps à l'exploitation des producteurs de sirop d'érable, ont dû subir les contrecoups de la pratique répandue consistant à laisser paître le bétail dans les érablières, sans compter ceux de l'abattage systématique de toutes les essences autres que des érables. L'érable à sucre est réputé pour sa sensibilité aux pluies acides et à la pollution atmosphérique (Percy, 1983). Il s'agit là de facteurs de stress permanents pour tout peuplement d'érables sains et vigoureux. En ce qui concerne les essences que l'on retrouve en

Beauce et dans les comtés avoisinants, région située à l'extrémité de leurs limites botaniques, les érables à sucre devraient normalement être associés à des bouleaux jaunes (Grandtner, 1966). Pourtant, on ne retrouve cette association que dans les régions les plus froides de la province. De 1978 à 1982, les érables à sucre de cette région ont été également soumis à des invasions massives et soutenues de la livrée des forêts qui, après avoir défolié les peupliers faux-trembles, a jeté son dévolu sur les érables à sucre. Le Centre de recherche forestière des Laurentides (CRFL) et le Service d'entomologie et de pathologie du ministère de l'Énergie et des Ressources (MER), qui effectuent des relevés annuels des problèmes causés dans les forêts de la province par les insectes et les maladies, ont signalé qu'en 1978, il y a eu une épidémie grave de livrée des forêts dans le sud du Québec et que les peupliers faux-trembles, les bouleaux et les érables à sucre avaient tous été touchés par cette épidémie (Lachance et coll., 1980). En 1979, le CRFL et le MER ont signalé des défoliations dont la gravité allait de légère à importante (Lachance et coll., 1980) dans le sud du Québec et, en se fondant sur le décompte des masses d'oeufs, les prévisions pour 1980 étaient à l'effet que des défoliations graves surviendraient dans les comtés de Frontenac et de Beauce sur une superficie d'environ 1 500 kilomètres carrés et que certaines érablières auraient à subir des pertes importantes dans cette région. L'épidémie prévue est bel et bien survenue et le CRFL et le MER (Lachance et coll., 1981) ont signalé que jusqu'à 75 % des érablières ont été défoliées dans la Beauce, le comté de Mégantic et le comté de Frontenac. Qui plus est, la durée, la gravité et l'étendue de cette épidémie étaient supérieures à tout ce que l'on avait déjà connu et les prévisions pour 1981 n'étaient guère plus encourageantes. Les érablières dévastées de la région ont de plus été exposées à un danger encore plus grave, soit des gelées tardives en juin qui ont gravement endommagé le feuillage, en pleine croissance, des érables se situant au-dessus de 500 mètres d'altitude dans toutes les régions

appalachiennes. Tous les arbres ont été touchés et de 75 % à 100 % du feuillage des érables a été détruit dans une région de 1 300 kilomètres carrés située entre le lac Memphrémagog et Montmagny. Les érables ont été gravement endommagés sur une superficie de plus de 130 000 hectares. La mort des jeunes feuilles à ce moment de la croissance équivaut à une défoliation totale, et l'arbre doit puiser dans ses réserves afin de se garnir d'un nouveau feuillage. En 1980, les feuilles qui ont poussé après cette gelée printanière tardive ont ensuite été dévorées par la livrée des forêts, dont la présence a atteint des proportions épidémiques dans tout le sud du Québec. Dans l'ensemble de la province, la défoliation s'est faite dans des proportions allant de 6 % à 80 %; dans la Beauce, jusqu'à 75 % des érables à sucre ont été entièrement défoliés. Ainsi, au cours de cette seule année, les érables à sucre ont été l'objet de deux attaques en règle et on croit que c'est à ce moment que des arbres ont commencé à mourir. Les prévisions effectuées à l'automne 1980 pour les régions de la Beauce, de Frontenac et de Wolfe laissaient présager qu'en 1981, toutes les érablières adjacentes à des peuplements de peupliers faux-trembles seraient entièrement défoliées. Cette prévision s'est malheureusement avérée, et 250 000 hectares d'érables à sucre ont été attaqués dans les comtés de Beauce, de Mégantic et de Frontenac, dont 125 000 hectares ont été gravement défoliés. Les érables des comtés de Nicolet, Drummondville et Sherbrooke jusqu'à Lotbinière ont également été gravement touchés (Benoit et coll., 1982). Comme si ces malheurs successifs n'avaient pas suffi à mettre en péril la survie des érables, c'est également en 1981 que l'arpenteuse de Bruce (Operophtera bruceata, Huist), autre insecte défoliateur, a fait son apparition. Ce dernier insecte s'attaque de préférence aux érables. Un dégel inhabituel en février 1981 a fait des ravages dans de nombreux vergers de pommiers de la province en plus d'exercer plus tard une contrainte inhabituelle sur les érables à sucre et les érables argentés, provoquant des lésions aux racines, aux branches et aux troncs, lesquelles ont pu provoquer la mort de certains arbres (Benoit et coll., 1982).

Les érables à sucre étaient à ce moment gravement diminués par cette succession de désastres. En 1982, on prévoyait que la région de la Beauce serait à nouveau l'objet d'attaques féroces de la livrée des forêts. Dans le relevé effectué au cours de cette même année (Benoit et coll., 1983), on signalait que la gravité des dommages provoqués dans la Beauce et les comtés avoisinants allait de légère à grave, particulièrement sur une bande de territoire de 10 à 20 kilomètres de largeur et s'étendant du lac Mégantic à Saint-Louis-de-Gonzague le long de la frontière entre le Québec et le Maine. C'est en 1982 qu'on a pour la première fois signalé le dépérissement terminal de certains érables en tant que phénomène indépendant des défoliations attribuables à la livrée des forêts. Benoit et coll. (1983) ont signalé dans différentes régions des décès inhabituels d'érables. Les facteurs ayant prédisposé les arbres peuvent être la pollution atmosphérique, l'âge des peuplements, le mauvais drainage du sol ou la trop grande sécheresse de celui-ci et l'insuffisance d'éléments nutritifs. En outre, toute une gamme de facteurs ont contribué à affaiblir gravement les arbres. Il peut s'agir de la maladie et du pourridié, d'attaques attribuables aux insectes, ainsi que de facteurs incitatifs à court terme comme les attaques répétées de la livrée des forêts et des autres insectes, et de conditions climatiques extrêmes comme les gelées printanières tardives et le manque de neige au cours des hivers de 1980 et 1981. D'après les expériences vécues dans le passé, on peut affirmer que les invasions de la livrée des forêts ne sont pas habituellement la cause première du décès des érables. Cependant, on se retrouve en présence d'autres facteurs. Ainsi, la pollution atmosphérique et les pluies acides constituent des suspects de choix. Les effets cumulatifs dus à la présence simultanée de tous ces facteurs pourraient constituer "le" facteur qui a déclenché les décès qui surviennent actuellement.

À l'automne 1982, un groupe d'experts a entamé une étude du phénomène au Québec et cette étude se poursuit à l'heure actuelle. Un relevé aérien des bassins hydrographiques de la rivière Chaudière et de la rivière Etchemin, effectué par le MER, a démontré que de 10 % à 15 % des érables étaient morts dans ces régions. Les sites de l'étude ont été choisis afin de pouvoir situer géographiquement avec précision l'étendue des dommages et tenter de confirmer l'hypothèse voulant que les graves défoliations étaient la cause première des nombreux décès d'arbres. En 1983, la population de livrées des forêts a finalement chuté, mais la quantité d'arpenteuses de Bruce était toujours fort grande dans les régions dévastées, et les peuplements d'érables survivants ont été à nouveau défoliés, parfois jusqu'à 50 %, ce qui a contribué à maintenir une contrainte sur cette essence déjà durement éprouvée (Lachance et coll., 1984). Depuis cette époque, on a effectué des relevés aériens au moyen d'hélicoptères en 1984, 1985 et en 1986. Ces relevés ont permis de constater que le dépérissement terminal des érables se répandait de plus en plus au sein des peuplements (Lachance et coll., 1985). D'autres études sur le terrain ont permis de constater que l'accroissement radial des arbres touchés par le déclin avait diminué de 39 % en moyenne au cours des cinq dernières années si on le compare à l'accroissement connu au cours des vingt années précédentes. Le pH du sol était faible, allant de 3,2 à 4,8 sur les sites en déclin, et les sols semblaient souffrir d'un déséquilibre des échanges cationiques. Un relevé pathologique a permis de constater que les arbres attaqués à leur pied par le pourridié (Armillaria mellea Vohl ex Fr.) (Kummer) et ayant été défoliés à plus de 51 pour cent sont infectés de façon substantielle par cet organisme pathogène. Toutefois, il ne semble pas que ce seul organisme ait pu amorcer le phénomène de déclin (Bonneau et coll., 1986). Robitaille et coll. (1986) allèguent qu'il n'y a aucune preuve qu'une maladie ou un insecte particulier soit à la source du déclin actuel des forêts au Québec. Il a été impossible de faire la preuve d'une relation de cause à effet entre les défoliations attribuables à la livrée des forêts survenues au début des

années 1980 et le déclin en cours des érables à sucre au sud du fleuve Saint-Laurent. Aucune invasion d'insectes n'a pu à ce jour être associée au déclin de quelque forêt que ce soit en cours au nord du fleuve Saint-Laurent. Avant d'éliminer totalement les insectes ou les maladies de la liste des agents pouvant être à la source du déclin, il faudrait chercher à associer d'autres organismes pathogènes à ce phénomène. Cependant, le déclin des forêts au Québec est très répandu géographiquement et de nombreuses espèces sont touchées, tant chez les feuillus que chez les conifères. Puisqu'il est pratiquement impossible qu'un seul agent pathogène ait pu toucher simultanément toutes les essences d'arbres sur tous ces sites, il est fort probable qu'un facteur de stress présent dans l'atmosphère ou d'origine climatique soit à la source du problème. Une augmentation de l'incidence du dépérissement terminal des arbres dans le sud du Québec a pu être constatée dans 95 % des lots échantillonnés et observés à trois ans d'intervalle (1983-1985). Dans pratiquement toutes les forêts dominées par les érables, l'incidence et la gravité du phénomène ont augmenté, comme cela a d'ailleurs été le cas dans les sous-régions de l'érable au sud du Québec. La plus forte augmentation a été constatée dans la région de Thetford Mines, dont le taux d'incidence est passé de 40 % à 80 % des arbres de 1983 et 1985. Cent trente sites avaient été échantillonnés pour cette étude. Il faudra continuer à s'efforcer de surveiller en permanence la végétation jusqu'à ce que l'incidence du déclin des forêts se stabilise. La qualité des sols des régions forestières dominées par l'érable au sud du Québec s'est gravement détériorée. Sur les sites échantillonnés aux fins de l'étude, le processus de minéralisation de l'humus était lent et les quantités d'éléments nutritifs servant aux échanges cationiques, tels le calcium, le magnésium et le potassium, étaient faibles.

Pertes subies au Québec

Les conséquences graves du déclin des érables ont été quantifiées par le Service d'études et de recherches de l'Union des producteurs agricoles (UPA). On estime que deux millions d'entailles ont été perdues (environ 15 % des entailles effectuées au Québec annuellement) depuis que le premier cas de dépérissement terminal a été signalé en 1982. L'UPA estime que les pertes financières subies par les producteurs sont de l'ordre de 87,6 millions de dollars (Ménard, 1985). Ce montant ne tient pas compte de la production plus faible que l'on obtient des arbres toujours vivants, la saison 1987 en étant un exemple frappant, ni du coût d'abattage des arbres morts dans les érablières dévastées et de la perte d'une source importante de revenu pour de nombreux propriétaires de terrains se situant dans les régions les plus durement touchées, et où aucune solution de rechange n'est disponible (La terre de chez nous, le 6 mars 1986). Vers la fin de l'été 1985, 25 000 $km^2$ de forêts ont fait l'objet d'un relevé. Ce relevé a permis de constater que les peuplements d'érables ayant perdu 11 % ou plus de leur feuillage couvraient approximativement 40 % de la zone étudiée. Les chiffres équivalents se situaient à 29 % en 1983 (Carrier et Gagnon, 1985). Cette évaluation des dommages est supérieure à celle obtenue au moyen des relevés précédents et on a signalé la présence d'arbres morts dans 60 % des peuplements touchés par le dépérissement terminal. Très peu de peuplements d'érables n'ont pas encore été touchés, d'une manière ou d'une autre, par ce phénomène (Bordeleau, 1986). Les cartes illustrant les dommages subis en 1983 et 1985 dans la région du lac Mégantic donnent un bon aperçu de la condition des érables dans la région la plus durement touchée au cours des trois dernières années (voir cartes). Il convient également de faire remarquer que les régions les plus durement atteintes sont celles qui reçoivent plus de dépôts acides humides (> 40 kg par hectare et par année) que toute autre partie de la province (Rennie, 1987). D'autres espèces de feuillus sont également attaquées et, pour la première fois, des conifères ont commencé à

montrer des symptômes de déclin semblables à ceux déjà décrits en Europe (Bordeleau, 1986). Le relevé aérien le plus récent a porté sur les forêts d'érables situées au nord du fleuve Saint-Laurent et a été effectué à l'été 1986. C'est ainsi qu'on a pu constater que les régions contaminées venaient de s'étendre encore une fois. Dans la région ayant fait l'objet du relevé de 1986, près de 60 % des peuplements étaient considérés comme étant en bonne santé. On a pu observer de légers dommages dans 35 % des peuplements de la région et des dommages allant de modérés à graves sur 4,2 % à 0,9 % de la région touchée. Ce dernier relevé a démontré que les dommages subis étaient pour la plupart légers. La zone s'étend de Saint-Jovite à Québec (Bordeleau, 1986). Ce dépérissement terminal des érables se répand dans toute la province, se déplaçant des régions les plus durement touchées vers les autres régions. La pollution atmosphérique et les précipitations acides sont les deux agents qui soulèvent le plus de suspicion. Le fait que les régions les plus durement touchées sont également celles qui reçoivent le plus de dépôts sulfureux ne saurait être qu'une simple coïncidence. Les effets dévastateurs à long terme des pluies acides sur les éléments nutritifs présents dans le sol et sur le pH de celui-ci ont été fort bien décrits à la Station forestière expérimentale de Duchesnay par Gagnon et coll. en 1985. Les répercussions qu'ont eues les modifications graves survenues récemment sur la quantité d'éléments nutritifs présents dans le sol et sur le pH de celui-ci viennent s'ajouter à tous les facteurs de stress habituels qui ont des effets négatifs sur les érables. Les cas les plus graves de dépérissement terminal qu'on a pu observer au Québec ont d'abord été localisés sur les sites les plus pauvres et les plus humides qui se situent à la limite de la zone de croissance des érables. Dans ces endroits, l'essence se situe à l'extrême limite de sa zone écologique. Il s'agit d'une région où les arbres sont déjà soumis à des contraintes considérables en raison de facteurs climatiques et de

RELEVÉ AÉRIEN 1985

RELEVÉ AÉRIEN 1983

Ces deux cartes de la même région, située autour du lac Mégantic, établies à deux années d'intervalle, montrent (zones ombrées) les modifications survenues en ce qui concerne les peuplements d'érables ayant été victimes d'une défoliation de 11 % ou plus. Les zones hachurées indiquent les régions où des décès d'arbres ont été constatés en 1985.

la piètre qualité du sol. Toute nouvelle contrainte, comme des soins sylvicoles de mauvaise qualité, une défoliation grave ou la pollution atmosphérique entraînera rapidement leur décès. Sur les sites dont le sol est plus riche, les peuplements d'érables sont plus sains, plus vigoureux et mieux armés pour résister à ces facteurs de stress cumulatifs. Toutefois, malgré cette combinaison de facteurs favorables, ces arbres finiront pas succomber si les précipitations acides continuent à lessiver le sol des éléments nutritifs essentiels à la croissance des arbres et à avoir sur eux des effets d'une foule d'autres façons. Comme l'indique le relevé aérien de 1986, les dommages se propagent des sites médiocres vers les sites de meilleure qualité et tous les groupes d'érables sont maintenant en danger. Le déclin des forêts nord-américaines s'est amorcé au cours des années 1950 et 1960 (Klein et Klein, 1985). À moins qu'on ne réduise de façon draconnienne les émissions polluantes dans l'atmosphère et qu'on ne prenne d'autres mesures correctives, comme la fertilisation des sols, ce phénomène, qui constitue une véritable plaie pour les peuplements d'érables, menacera d'extinction cette ressource. Déjà, les pertes financières et les épreuves qu'ont dû subir de nombreux producteurs agricoles sont graves. Certains ont même vu disparaître leur source de subsistance la plus importante. Il ne fait aucun doute que si la tendance actuelle se maintient, on pourra compter sur les doigts de la main les érablières saines à la fin de la prochaine décennie.

Répercussions importantes de la pollution atmosphérique

Il existe quatre principaux processus reliés à la pollution atmosphérique qui ont des répercussions sur la santé des arbres. Ces répercussions peuvent toucher l'arbre de plusieurs façons. Premièrement, (1) la pollution atmosphérique entraîne des modifications dans la composition chimique du sol, ce qui endommage les organismes et empêche les échanges racines-sol. Klein et Klein (1986) mentionnent, comme l'avaient fait avant eux Hutchinson (voir Cook, 1986) ainsi que certains scientifiques européens (Baule, 1984), que la perte des mycorrhizes a des effets sur la montée de phosphore dans la sève de l'arbre. Une quantité trop importante de matière azotée peut endommager ces organismes qui sont indispensabes au système radiculaire et permettent à ce dernier de nourrir l'arbre plus efficacement. Deuxièmement, la pollution atmosphérique et les précipitations acides (2) accélèrent l'acidification du sol, ce qui contribue à dissoudre l'aluminium qui y est présent. L'augmentation de l'acidité du sol entraîne une dissolution de l'aluminium, et ce dernier s'attaque au système radiculaire de l'arbre. L'aluminium est toxique pour les racines fines de nombreux arbres (comme l'ont démontré Hutchinson en 1985 et Bélanger et Hendershot en 1986) en plus d'empêcher la montée ou le remplacement d'éléments nutritifs importants comme le potassium, le calcium et le magnésium. En 1986, Hendershot a associé ce phénomène de dissolution de l'aluminium aux baisses constantes du pH du sol. Un troisième concept, bien connu de nombreux scientifiques, peut se résumer à ceci (3) : les arbres prédisposés ou affaiblis sont atteints très rapidement par les nombreux organismes qui les attaquent. La pollution atmosphérique a des effets similaires à une sécheresse prolongée, aux défoliations attribuables aux insectes, à la maladie et à d'autres agents qui précipitent les

peuplements dans la spirale du déclin, phénomène si bien décrit par Manion (1981). Quatrièmement, et finalement, (4) l'augmentation de l'acidité des précipitations entraîne un lessivage des éléments nutritifs présents dans le sol et particulièrement du calcium, du magnésium et du potassium. Ces éléments nutritifs sont essentiels à la croissance des arbres et à la bonne santé à long terme de toute forêt. L'expérience européenne a démontré qu'en fonction du sol et de la géologie d'une région, certains éléments nutritifs particuliers sont lessivés de l'écosystème forestier de façon sélective (Zottl et Huttl, 1986). Après avoir établi un diagnostic approprié, on est parvenu à guérir des arbres au moyen de la fertilisation, c'est-à-dire en remplaçant les éléments nutritifs lessivés. Les quatre processus susmentionnés survenant à différents degrés, à différents taux, agissant parfois de façon synergétique et d'autres fois de façon antagoniste, et parfois encore, de manière inconnue, et le tout dépendant ultimement de la nature des sols et de la géologie du site, ces quatre facteurs donc, privent les arbres, de façon sélective, des éléments nutritifs vitaux dont ils ont besoin.

Après avoir établi un "diagnostic" des éléments nutritifs manquants grâce à une analyse du feuillage et du sol, les arbres affaiblis peuvent être fertilisés par chaulage ou autrement. Hendershot et coll. (1987) décrivent ce processus. La fertilisation constitue un outil pratique permettant d'atténuer le déclin des forêts lorsque celui-ci est associé à une faible quantité ou à une quantité insuffisante d'éléments nutritifs dans le sol. On ne peut en aucun cas dire qu'il s'agit d'une cure "miracle" au phénomène du déclin, mais elle peut aider à atténuer les répercussions que la pollution atmosphérique a sur les forêts en revitalisant les peuplements, en améliorant la qualité nutritive du sol et en aidant à garder les arbres vivants jusqu'à ce qu'une meilleure solution à plus long terme ait pu être trouvée en ce qui concerne le problème de la pollution atmosphérique et des précipitations acides. Toutefois, le temps manque et les arbres qui sont actuellement défoliés à plus de 50 % sont déjà trop touchés pour réagir favorablement à un traitement de

fertilisation. Il faut donc prendre des mesures sans délai si l'on désire sauver les érables.

Le temps d'agir est venu

Si l'on se fonde sur les recherches effectuées par les autorités compétentes, la fertilisation est une des mesures palliatives qui offre les meilleures possibilités de stabilisation rapide mais temporaire des forêts gravement touchées par la pollution atmosphérique. Ces mesures supposent le remplacement des éléments nutritifs qui sont lessivés de façon intensive du sol, et par conséquent des feuilles des arbres, par les pluies acides et la pollution atmosphérique. Même si on ne peut être sûr à l'heure actuelle que ces méthodes permettront de guérir les érables, les résultats obtenus en Europe grâce à cette méthode sont des plus encourageants. La fertilisation semble être le meilleur moyen d'atténuer, à court terme, le phénomène destructeur que constitue le déclin des érables.

## Bibliographie


Baule, H., 1984. Zusammenhänge zwischen Nahrstoffversorgung und Walderkrankungen. Allg.Forstz. 39:775-778.

Bélanger, C.R. et W. Hendershot, 1986. The effect of Ca:Al ratio on sugar maple trees grown in solution culture. Macdonald College, thèse non publiée, p. 28.

Benoit, P., G. Laflamme, G. Bonneau et R. Picher, 1982. Insectes et maladies des arbres du Québec - 1981. Supplément Forêt Conservation, Vol. 48(10):7.

Benoit, P., G. Laflamme, G. Bonneau et R. Picher, 1983. Insectes et maladies des arbres du Québec - 1982. Supplément Forêt Conservation, Vol. 49(10):7, 17-18.

Bonneau, G., R. Picher et D. Lachance, 1986. Insectes et maladies des arbres du Québec - 1985. Supplément Forêt Conservation, Vol. 52(10):7-8.

Bordeleau, C., 1985. Evaluation of sugar maple dieback in Quebec. Service de protection contre les insectes et les maladies, MER. Document présenté au Northeastern Forest Pest Control Council Conference, Albany (N.-Y.).

Bordeleau, C., 1986. La carte des relevés aériens du dépérissement des érablières au Québec en 1985 et 1986. Mimeo.

Carrier, L. et G. Gagnon, 1985. Le dépérissement terminal des érables au Québec. Service de la recherche appliquée, ministère de l'Énergie et des Ressources.

Carrier, Léon, 1986. Le déclin des forêts au Quebec : Évaluation de la situation. Service de la recherche appliquée, Direction de la recherche et du développement, ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, p. 30.

Cook, G., 1986. Maples could go the way of Elms. Univ. of Toronto Bulletin, 29 sept. 1986.

Gagnon, G., L. Robitaille, G. Roy et C. Gravel, 1985. Le dépérissement des érablières : comportement de certaines variables écologiques. La terre de chez nous (dossier), Vol.3, N° 5, 28 mars 1985.

Grandtner, M.M., 1966. La végétation du Québec méridional. Les Presses de l'Université Laval, Québec.

Griffin, H.D., 1965. Maple Dieback in Ontario. For. Chron. 41:295-300.

Gross, H.L., 1981. Maple Decline. Annual Report. Forest Insect and Disease Survey, SCF. Environnement Canada.

Hendershot, W., 1986. Forest Decline: The changes taking place in soils. Texte non publié présenté à Wakefield (Qué.) lors d'une conférence, nov. 1986.

Hendershot, W., H. Lalonde et A.R.C. Jones, 1987. Soil Acidification, Base Cation Leaching and Maple Decline, thèse non publiée.

Hepting, G.H., 1960. Climate change and forest diseases. Fifth World Forestry Congress, Seattle (Wash.), août et sept. 1960.

Hutchinson, T.C., 1985. A comparative study of the toxicity of aluminium to seedlings of five coniferous species, rapport adressé au Service canadien des forêts.

Kessler, K.J., Jr., 1963. Dieback of sugar maple, Upper Michigan - 1962. Research Note LS-13, Lake States For. Exp. Sta., U.S.D.A. p.2.

Klein, D.T. et R.M. Klein, 1987. Tree Dieback: The Growing Case Against Acid Rain. Garden V9(2):22-27.

Lacasse, N.L. et A.E. Rich., 1964. Maple decline in New Hampshire. Phytopathology 54(9):1071-1075.

Lachance, D., P. Benoit, G. Bonneau et G. Laflamme, 1980. Insectes et maladies des arbres du Québec - 1979. Supplément Forêt Conservation, Vol. 46(10):7-8.

Lachance D., P. Benoit, G. Bonneau et G. Laflamme, 1981. Insectes et maladies des arbres du Québec - 1980. Supplément Forêt Conservation, Vol. 47(9):5-7.

Lachance D., P. Benoit, G. Laflamme, G. Bonneau et R. Picher, 1984. Insectes et maladies des arbres du Québec - 1983. Supplément Forêt Conservation, Vol. 50(10):15-17.

Lachance, D., P. Benoit, G. Laflamme, G. Bonneau et R. Picher, 1985. Insectes et maladies des arbres du Québec - 1984, Supplément Forêt Conservation, Vol. 51(10):6-7.

Manion, P.D., 1981. Tree Disease Concepts. Prentice-Hall, Inc., New Jersey.

Ménard, L., 1985. Évaluation des pertes encourues par les producteurs de sucre et de sirop d'érable au Québec à l'automne 1985. Services d'études et de recherche, l'Union des producteurs agricoles, rapport interne, 21 p.

McGauley, B.H., 1983. Maple Decline in Ontario. Briefing Note, Pest Control Section, Forest Resources Branch, Ministry of Natural Resources, Maple (Ont.).

McLaughlin, D.L., S.N. Linzon, D.E. Dimma and W.D. McIlveen, 1985. Sugar Maple Decline in Ontario. Report No. ARB-144-85-Phyto A.P.I.O.S. # 026-85, Ontario Ministry of the Environment, Sept., p.18.

Percy, K.E., 1983. Sensitivity of eastern Canadian forest tree species to simulated acid precipitation. In Proc. 12th International mtg. specialists in air pollution damages in forests, IUFRO Sect. 2.09, Oulu, Finland, Aquilo Series B, 19:41-49.

Rennie, P.J., 1987. The Significance of Air Pollution to Forest Decline in Canada. In Workshop Proc. Forest Decline and Reproduction. International Institute for Applied Systems Analysis, IIASA, Laxenburg (Autriche).

Robitaille, L., G. Roy et R. Picher, 1984. Érablières : Résultats préliminaires sur les causes du dépérissement. La terre de chez nous, 20 sept. 1984.

Robitaille, L., G. Gagnon et D. Lachance, 1986. Forest Decline Workshop. LRTAP Workshop n° 6. Federal LRTAP Liaison Office, Atmospheric Environment Services. Actes de la rencontre, Wakefield (Québec), 20-22 oct. 1986, p. 38.

Schutt, P. and E.B. Cowling, 1985. Waldsterben, a general decline of forests in Central Europe: symptoms, development and possible causes. Plant Disease, 69:548-558.

Skilling, D., 1959. Maple blight: A new fight. Amer. For. 65(5):20-21, 53-55.

Stone, E.L. and A.L. Leaf, 1967. Potassium Deficiency and Response in Young Conifer Forests in North America. Forest Fertilization Procs. of the Fifth Colloquiam, International Potash Inst., Berne (Suisse).

University of Wisconsin, 1964. Studies of maple blight. Research Bull. 250:p. 128.

Tomlinson, G., 1987. Nutrient Deficiency and Forest Decline. Pulp and Paper Canada 88(2):43-48.

Zabel, R.A., S.B. Silverborg et M.E. Fowler, 1958. A survey of forest tree diseases in the northeast. Sta. Paper 110, Northeast For.Exp.Sta., U.S.D.A.

Zottl, H. and R. Huttl, 1986. Nutrient Supply and Forest Decline. Water, Air and Stream Pollution, 31:449-462.

27.05.87

# RECHERCHES SUR LE DÉPÉRISSEMENT DES ÉRABLIÈRES AU QUÉBEC:

## APERÇU DE NOS TRAVAUX

G. Gagnon, ing. f., M.Sc.
Direction de la recherche et du développement
Ministère de l'Énergie et des Ressources[1]

## Introduction

Le dépérissement de la forêt n'est pas un phénomène nouveau. Dans les forêts situées en haute altitude dans les États de New York, du Vermont et du New Hampshire, l'épinette rouge *(Picea rubens* Sarg.) dépérit depuis 1960 (Siccama *et al.* 1982). Le bouleau à papier *(Betula papyrifera* Marsh.) et le bouleau jaune *(B. alleghaniensis* Britton) de tout l'est de l'Amérique du Nord ont eu des problèmes depuis la fin des années 1930 jusqu'à la fin des années 1950 (Clark 1961; Pomerleau 1944). Pour ce qui est de l'érable à sucre *(Acer saccharum* Marsh.), plusieurs cas ont été signalés en Amérique du Nord de 1960 à 1979 (Griffin 1965; Lacasse & Rich 1964; Rich & Walton 1979). Au Québec, il semble qu'un seul cas de dépérissement ait été signalé antérieurement dans les Appalaches (Pomerleau 1944). En Europe, la situation est grave. En Allemagne de l'Ouest en particulier, la superficie touchée en 1984 était de l'ordre de 3,7 millions d'hectares, soit la moitié de la superficie forestière du pays. L'épinette de Norvège *(Picea abies* (L.) Karst.) et le sapin pectiné *(Abies alba* Mill.) en sont les principales victimes (van Doren 1986, Bouvarel 1984).

---

[1] Texte présenté à la rencontre annuelle "L'Érable en fête (Maplefest)" à Grand-Sault, Nouveau-Brunswick, les 12 et 13 juin 1987.

Le phénomène du dépérissement qui ravage actuellement les érablières du Nord-Est de l'Amérique du Nord a été signalé au Québec en 1978. Ce sont des producteurs acéricoles qui ont d'abord manifesté leur inquiétude après avoir observé que des érables séchaient sans raison apparente dans leur érablière. À l'été 1981 le phénomène s'accentua sensiblement et en 1982 le dépérissement se manifesta violemment sur une grande superficie des Appalaches soit environ 4 500 km$^2$ ou 19 p. cent de la superficie totale en érablière. Puis, de 1983 à 1986, la superficie n'a cessé de s'accroître pour atteindre l'ensemble des érablières du Québec soit environ 24 000 km$^2$ (Lachance 1985; Gagnon et al. 1986; Bordeleau 1986; Carrier 1986).

Actions entreprises

À l'automne 1982, à la demande du Sous-ministre associé aux Forêts, des chercheurs du ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, en collaboration avec des chercheurs du Centre de recherches forestières des Laurentides, de l'Université Laval et du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, formèrent un groupe de travail et élaborèrent un plan d'action. Ce plan consistait à proposer des travaux d'inventaire et un programme de recherche ayant pour but de:

- déterminer l'importance du phénomène
- connaître les causes du dépérissement et
- trouver des moyens de le combattre ou d'en réduire les effets.

Sur le plan inventaire, le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation a effectué, en décembre 1982, une enquête postale auprès de 7000 acériculteurs afin de connaître l'état de leur érablière. Deux mille d'entre eux ont répondu

à cette enquête. À l'été 1983, le Centre de foresterie des Laurentides entreprit un relevé intensif dans 257 érablières réparties dans toute l'aire de distribution de l'érable au Québec, afin de connaître la distribution géographique et l'intensité du dépérissement (Lachance 1985).

Depuis 1983, le Service de protection contre les insectes et les maladies du ministère de l'Énergie et des Ressources a effectué des relevés aériens par hélicoptère afin de déterminer l'ampleur du dépérissement des peuplements d'érable dans une grande partie de la forêt feuillue du Québec.

La carte "Dépérissement des érablières - Survol 1985 et 1986" présente les résultats des relevés aériens réalisés en 1985 et en 1986. Elle permet de visualiser l'état de dépérissement des secteurs inventoriés grâce à un code de couleurs correspondant à quatre classes de dépérissement (basées sur la proportion de feuillage manquant dans la cime des arbres).

Ainsi, les zones vertes correspondent à des zones d'érablières saines ou peu affectées (10 p. cent ou moins de feuillage manquant). Le jaune identifie les zones où le dépérissement est léger (de 11 p. cent à 25 p. cent de feuillage manquant) et le rouge, au dépérissement élevé (plus de 50 p. cent de feuillage manquant). De plus, des traits verticaux signalent la présence d'arbres morts dans les peuplements.

Le relevé aérien réalisé en 1985 montre que le niveau de dépérissement est particulièrement important dans les comtés de Beauce, Frontenac, Wolfe, Mégantic et Arthabaska. Le territoire le plus fortement affecté par le phénomène s'inscrit dans un triangle délimité par les municipalités de Victoriaville, Saint-Joseph-de-Beauce et Lac-Mégantic. Les dégâts sont encore abondants en périphérie, mais ils s'atténuent graduellement

lorsqu'on progresse vers les limites est et ouest du territoire inventorié. Près de 60 p. cent de la superficie en érablières qui a été survolée cette année-là peut être considérée dans un état "sain ou peu affecté". Des dommages "légers" sont observés sur 35,4 p. cent de la superficie, tandis que des dommages modérés et élevés se retrouvent respectivement sur 4,2 p. cent et 0,9 p. cent de la superficie.

Le relevé aérien effectué en 1986 sur la rive nord du Saint-Laurent fait voir un dépérissement principalement léger, mais répandu: les dégâts sont distribués sur l'ensemble du territoire s'étendant de Saint-Jovite à Québec. L'importance du dépérissement est similaire dans chacune des régions inventoriées (régions de Québec, Trois-Rivières et Montréal): les niveaux de dépérissement "sain ou peu affecté" et "léger" comptent respectivement pour environ 35 p. cent et 60 p. cent dans chacune de ces régions. Toutefois, on retrouve dans la région de Québec une proportion légèrement plus forte de dégâts "modérés". Les comtés de Portneuf et de Lotbinière sont les secteurs les plus fortement affectés par le dépérissement. Dans les régions de Montréal et de Trois-Rivières, des zones de dégâts plus importants ont été relevées aux environs du Mont-Tremblant et de Saint-Donat-de-Montcalm, au sud-est d'Arundel et en périphérie de Grandes-Piles. Dans la région du Bas-Saint-Laurent - Gaspésie, le phénomène de dépérissement, bien que présent, connaît moins d'ampleur, car près de 81 p. cent de la superficie en érablières survolée se situe dans le classe "sain ou peu affecté". Les zones de dépérissement d'intensité modérée et élevée se situent principalement entre Trois-Pistoles et Saint-Fabien, ainsi qu'au sud-est du lac Témiscouata. Dans l'ensemble de la zone survolée, des dégâts légers, modérés et élevés ont été trouvés sur 52,4 p.cent, 3,7 p. cent et 0,3 p. cent de la superficie. Près de 44% de la superficie se situe dans la classe "sain ou peu affecté" (Bordeleau 1987).

Sur le plan recherche, notre engagement remonte au printemps 1983. Le programme initial prévoyait des recherches sur le cycle nutritif des éléments, sur les éléments pathogènes qui interviennent dans le phénomène et sur l'influence de différentes variables écologiques qui sont susceptibles de provoquer le dépérissement ou d'y contribuer.

C'est sur ce dernier sujet, soit l'étude de l'influence de différentes variables écologiques sur l'évolution du dépérissement, que le groupe de chercheurs du ministère de l'Énergie et des Ressources a concentré ses activités. Nous avons voulu connaître les rôles qu'ont pu jouer les épidémies de livrée des forêts (*Malacosoma disstria* Hbn.), le dégel de 1981 et les faibles précipitations du printemps de 1982. Nous avons voulu connaître également l'effet des différentes interventions qui se pratiquent dans les érablières, soit les méthodes d'entaillage, la coupe des essences compagnes, les éclaircies et le pâturage par les animaux domestiques. Nous considérons qu'il était important aussi de connaître l'influence des diverses variables du milieu, comme le régime d'humidité du sol, l'épaisseur des dépôts, la pente, l'exposition, le régime nutritif, etc., toujours en relation avec les différents degrés de dépérissement et de son évolution.

Symptômes du dépérissement

Afin d'évaluer l'importance du dépérissement, il a fallu d'abord décortiquer les différentes phases du phénomène. Notre première constatation a été de réaliser que le dépérissement est un phénomène insidieux. Il faut en effet un oeil averti pour déceler les arbres légèrement atteints. Chaque année, en effet, la forêt est moins belle, mais on s'y habitue et on trouve normal que des arbres sèchent le long des chemins carrossables et autour de la cabane à sucre.

Le mécanisme du dépérissement amène des symptômes qui lui sont propres et qui le différencient des autres maladies abiotiques et biotiques. Le dépérissement se caractérise par les symptômes suivants:

- le déploiement de feuilles plus petites et plus pâles;

- la mortalité des ramilles du pourtour de la cime puis des rameaux et des branches principales. Ce symptôme évolue toujours de l'extérieur vers l'intérieur de la cime. À un stade très avancé, la pénétration du soleil sur le tronc de l'arbre provoque le débourrement de bourgeons adventifs et donne à l'arbre dépérissant une forme en "nid de corbeau";

- un ralentissement de la croissance des branches tertiaires qui se visualise par le regroupement des feuilles sous forme de paquets plus ou moins isolés. Ce ralentissement de croissance se traduit également par une diminution de la vitesse de cicatrisation des entailles et du taux de croissance en diamètre;

- une coloration automnale hâtive visible dès la fin du mois d'août;

- le décollement de l'écorce, initialement sur les rameaux, puis sur les branches maîtresses et, finalement, sur le tronc des arbres mourants ou morts;

- la présence de feuilles chlorosées et nécrosées.

Ces symptômes demeurent très semblables pour l'ensemble des feuillus touchés par cette maladie.

## Méthodologie

En vue d'analyser la part des différentes variables écologiques dans le phénomène du dépérissement et afin de vérifier les hypothèses de départ, nous avons établi 243 places d'étude semi-permanentes depuis 1983. La majorité de ces places d'étude ont été choisies à la suite de l'enquête postale effectuée par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation à l'automne 1982 et de celle de la société coopérative "Les producteurs de sucre d'érable du Québec" effectuée à l'automne 1984.

Chacune de ces places a fait l'objet d'une étude phytoécologique, c'est-à-dire que l'on a classifié les érablières selon leurs affinités écologiques. On a ainsi dénombré et évalué les arbres, les arbustes et les plantes herbacées. On a déterminé le type de sol de chaque milieu et analysé son régime nutritif. On a également mesuré et évalué toutes les conditions du milieu soit la pente, l'exposition, l'altitude et le régime hydrique. On a mesuré les caractéristique dendrométriques du peuplement afin de déterminer l'âge, le nombre de tiges à l'hectare, la surface terrière, le volume et l'accroissement. Après avoir numéroté chaque arbre de cette place d'étude, on a évalué leur état de santé afin de connaître le degré de dépérissement et les maladies et les insectes qui l'affectent. On a analysé les épidémies dont le peuplement a été affecté depuis une dizaine d'années de même que les principaux accidents climatologiques qui se sont produits au cours de cette période.

De plus, afin de connaître l'influence des facteurs anthropiques, on a analysé des érablières non entaillées, entaillées à la chaudière et avec tubulure, par gravité et sous vide. On a également tenu compte du pâturage et de la coupe des espèces compagnes.

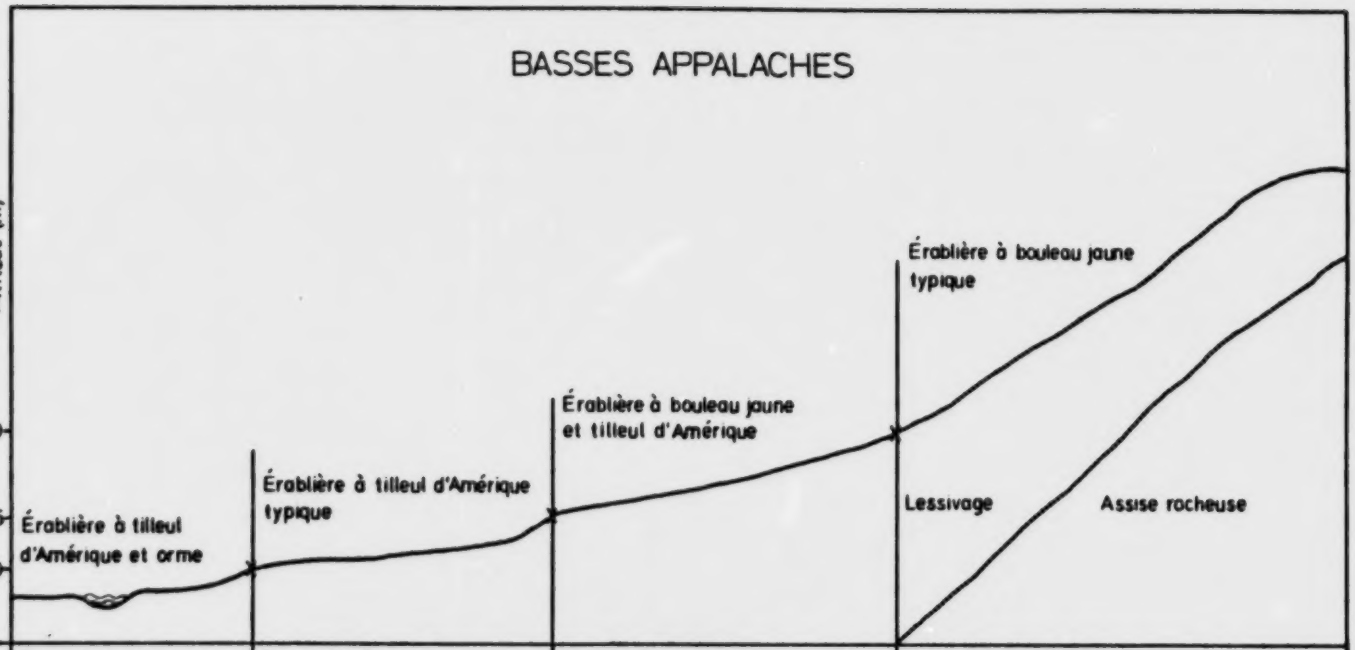
Chaque été, le dépérissement est réévalué dans toutes les places établies depuis 1983 afin de connaître l'évolution du phénomène.

Évolution du dépérissement par rapport aux différents types d'habitat

Tout le monde sait sans doute que les groupements forestiers en général et, particulièrement, les érablières évoluent sur différents milieux. Ainsi, notre première préoccupation a été de déterminer les caractéristiques des différentes érablières du Québec afin de connaître leur comportement face au dépérissement.

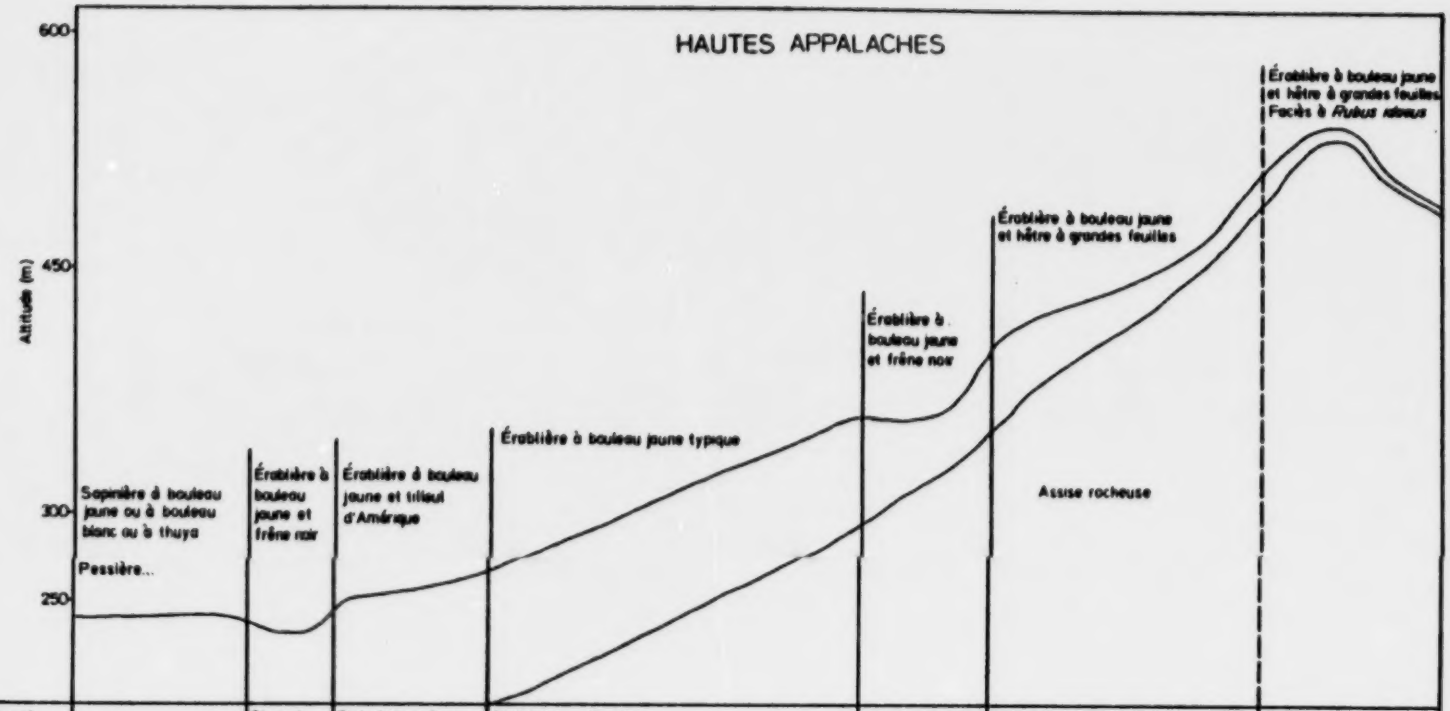
À titre d'exemple, la classification phyto-écologique des 133 places d'étude des Appalaches a permis de diviser la région étudiée en deux secteurs, soit les Basses Appalaches et les Hautes Appalaches, puis de distinguer huit groupements d'érablières. Les sères physiographiques de ces deux secteurs permettent de situer ces groupements (figures 1 et 2). Il est à noter que toutes les érablières étudiées à travers le Québec ont fait l'objet d'une telle classification.

La réévaluation de chaque arbre dans les différentes places d'étude établies depuis 1983 indique que le phénomène du dépérissement est en constante évolution. En effet, pour les 133 places d'étude établies en 1983 et 1984, dans la Beauce et les Bois-Francs, l'incidence, c'est-à-dire le nombre d'arbres affectés, est passée de 71,2 p. cent en 1984 à 81,0 p. cent en 1986. Durant la même période, la sévérité, c'est-à-dire le pourcentage de feuillage manquant, est passée de 21,0 à 28,3 p. cent (figure 3). En ajoutant les 66 places d'étude établies en 1985 dans les basses Laurentides, dans la plaine du Saint-Laurent et dans les Appalaches, l'incidence qui était de 69,6 p. cent en 1985 est




| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Sols (morphologiques) | Brunisol dystrique | Brunisol mélanique<br>Brunisol dystrique | Brunisol dystrique<br>Podzol humo-ferrique | Podzol humo-ferrique |
| Dépôt de surface | Colluvions | Till épais | Till épais | Till |
| Situation topographique | Platière | Platière | Bas de pente à mi-pente | Mi-pente à haut de pente |
| Drainage | Bon à mauvais | Bon | Bon | Bon à rapide |
| Taux de dépérissement | Faible | Faible | Faible | Modéré |

Figure 1 : Sère physiographique des Basses Appalaches

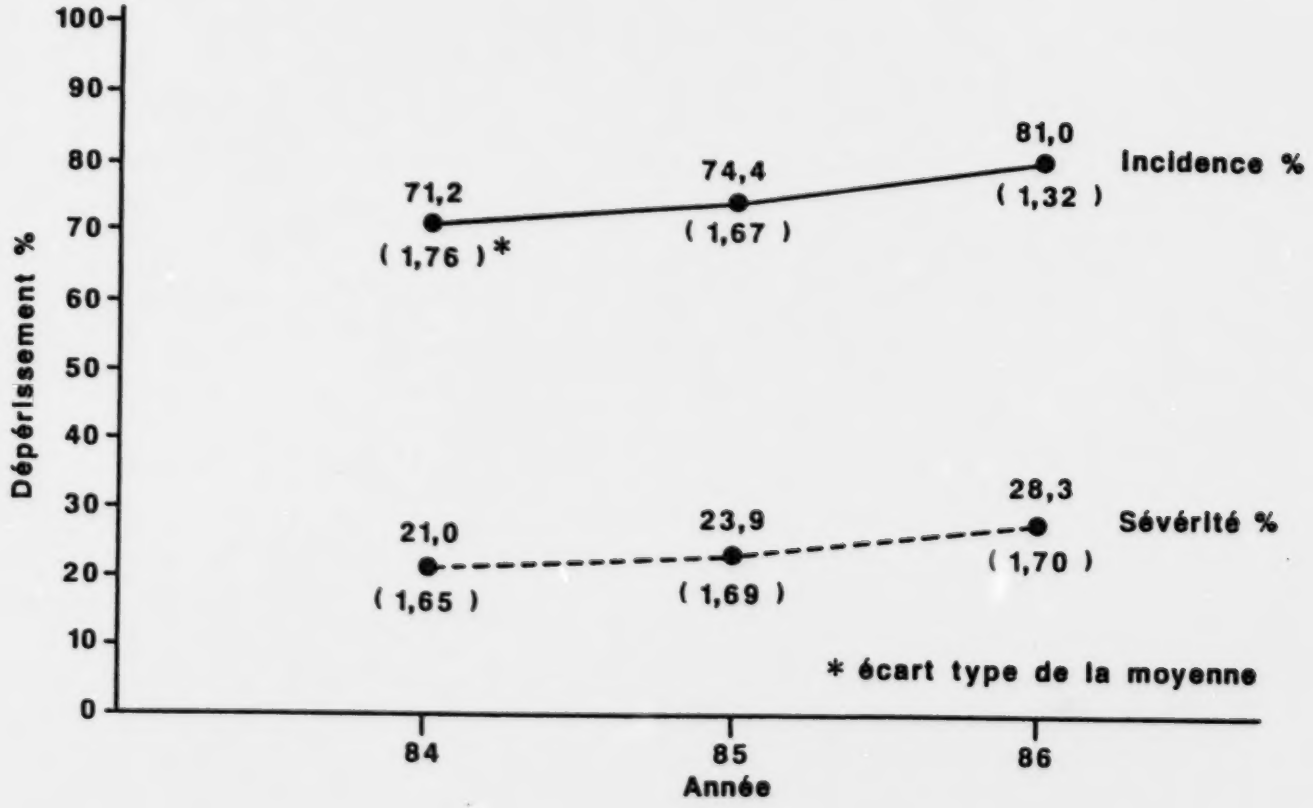



| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sols (morphologiques) | | Gleysol | Podzol humo-ferrique | Podzol humo-ferrique | Podzol gleyifié ou gleysol | Podzol humo-ferrique | Podzol ferro-humique |
| Dépôt de surface | | Till épais | Till épais | Till | Till | Till mince | Affleurement, till mince |
| Situation topographique | | Bas de pente Dépression | Pente faible à bas de pente | Pente moyenne | Dépression | Pente moyenne à forte | Haut sommet, crête |
| Drainage | | Mauvais | Bon | Bon | Mauvais | Rapide | Très rapide, seepage |
| Dépérissement | | Élevé | Faible | Faible à modéré | Élevé | Modéré à élevé | Très élevé |

Figure 2 : Sère physiographique des Hautes Appalaches

FIGURE 3

**Évolution de la valeur moyenne de l'incidence et de la sévérité pour les érablières établies en 1983 et 1984 ( 133 places d'étude )**



passée à 79,3 p. cent en 1986 alors que la sévérité est passée de 21,2 à 25,1 p. cent pour la même période (figure 4).

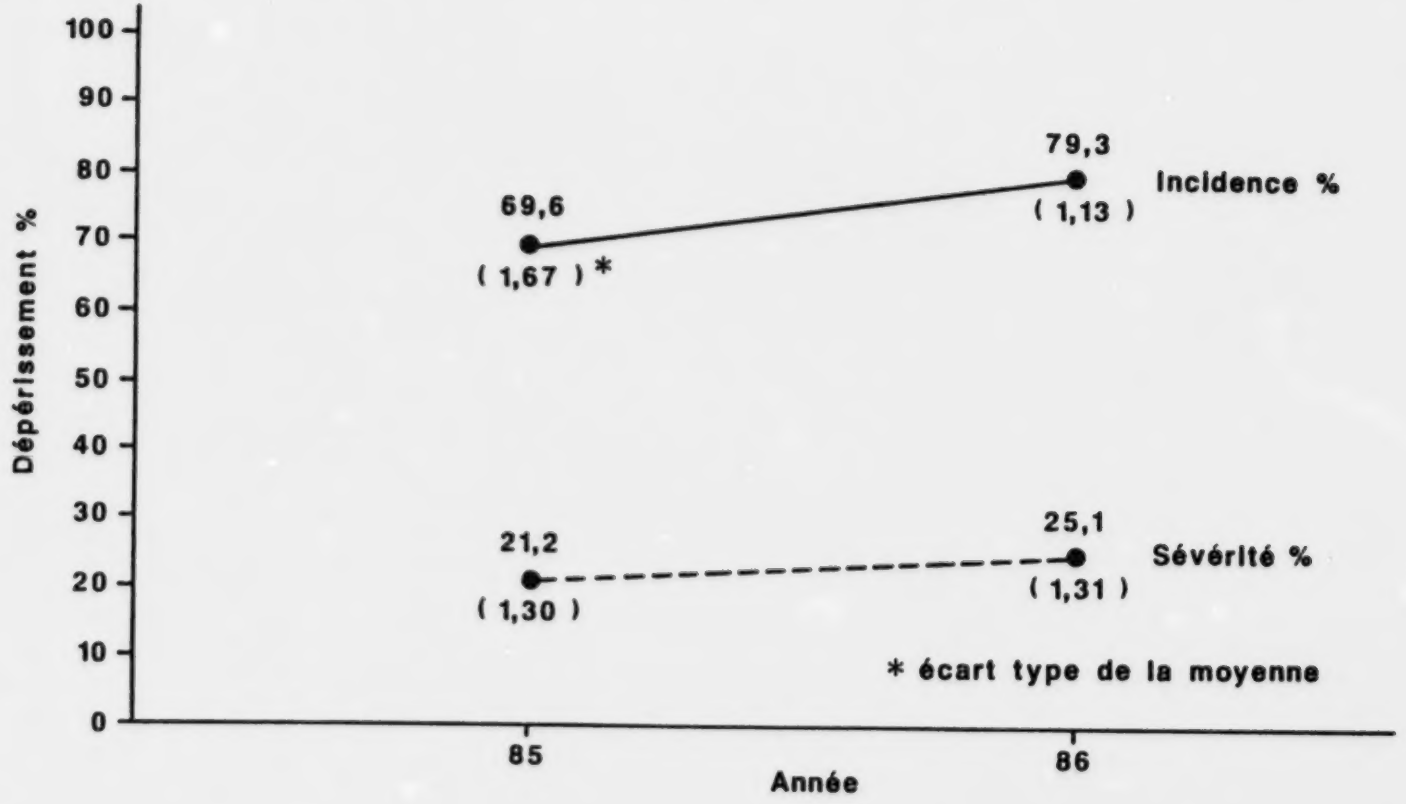
L'analyse plus détaillée des places d'étude démontre que l'évolution du dépérissement est différente pour chacun des types d'érablières. Toujours à titre d'exemple, pour les places établies en 1984, on remarque (figure 5) que les érablières à bouleau jaune et tilleul et les érablières à tilleul et orme d'Amérique étaient les moins affectées au départ, avec respectivement 12,5 et 15,0 p. cent de sévérité alors qu'en 1985, elles passent à 14,7 et 18,7 p. cent. Par contre, ce sont les érablières à bouleau jaune et frêne noir et les érablières à bouleau jaune et hêtre qui sont les plus touchées avec respectivement 39,2 et 23,2 p. cent en 1984 et 43,3 et 26,9 p. cent en 1985.De façon générale, nous constatons que plus l'érablière s'éloigne de l'optimum de croissance de l'érable à sucre, plus celui-ci est vulnérable au dépérissement. Nous constatons également qu'il y a des érablières qui sont moins touchées que d'autres mais que la progression du phénomène demeure pratiquement constante d'une érablière à l'autre.

Il est important de souligner que l'évaluation du dépérissement est effectuée sur toutes les essences feuillues présentes dans le peuplement et non seulement sur les érables à sucre.

Cette analyse met donc en évidence que le drainage ou régime d'humidité est un facteur important dans l'état et la progression du dépérissement. En effet, la courbe parabolique (figure 6) montre que les taux élevés de dépérissement se retrouvent dans les classes de drainage extrêmes. En d'autres mots, les milieux humides colonisés par les érablières à bouleau jaune et frêne noir et les milieux secs colonisés par l'érablière à bouleau jaune et hêtre sont plus sensibles au dépérissement. Les

FIGURE 4

**Évolution de la valeur moyenne de l'incidence et de la sévérité pour les érablières établies en 1983, 1984 et 1985 ( 199 places d'étude )**



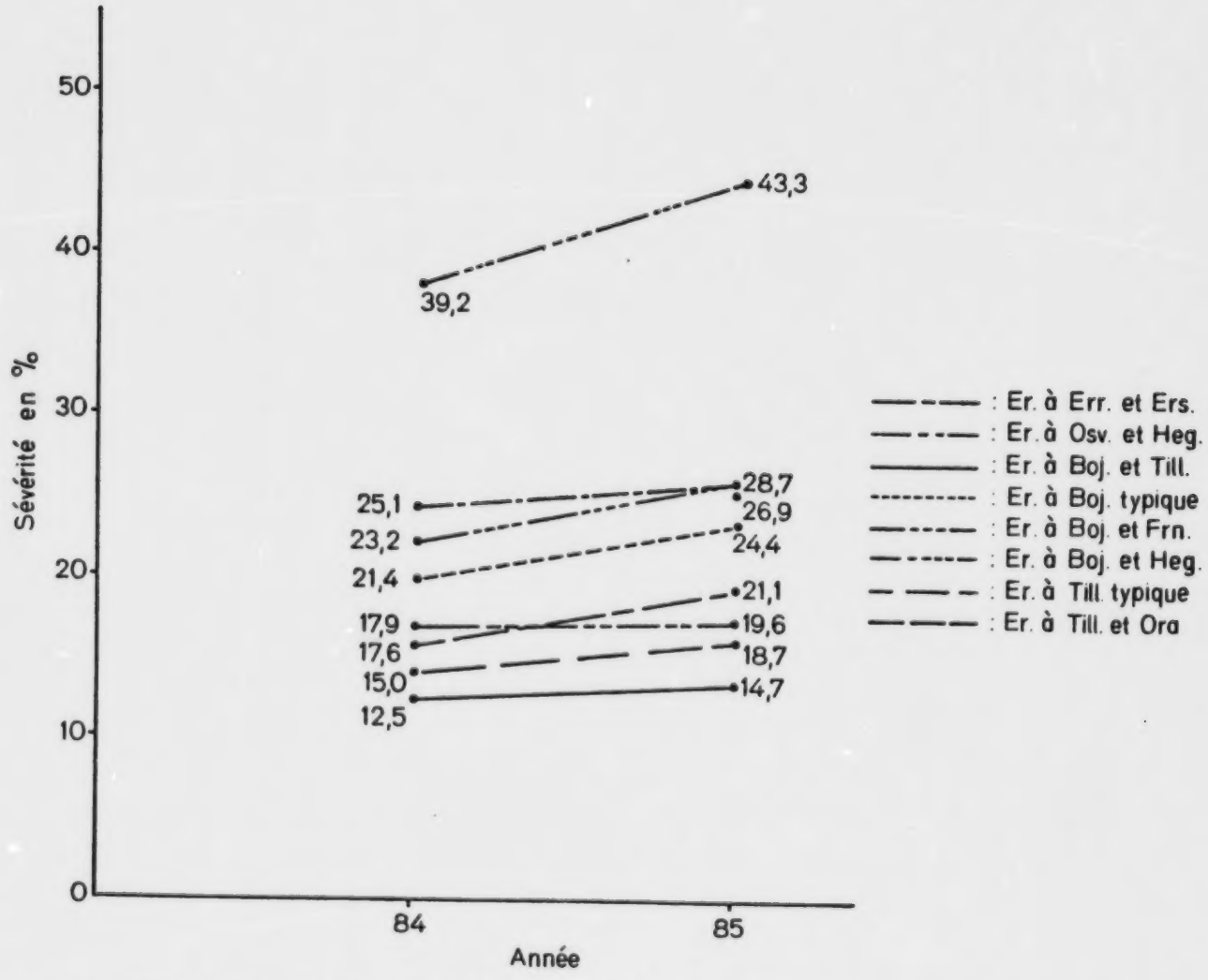



Figure 5 Valeur moyenne de sévérité pour différents types d'érablière par rapport à l'année

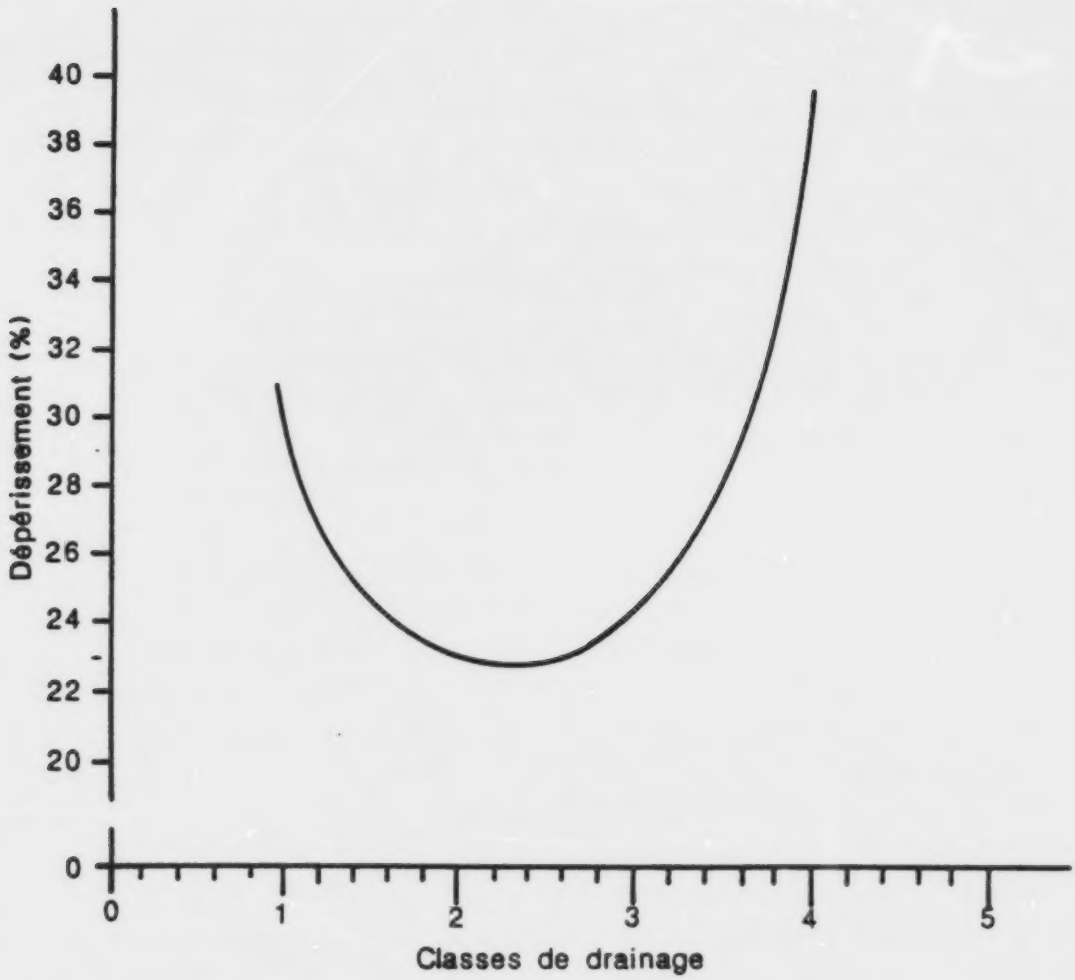



Figure 6 : Importance du dépérissement par rapport aux classes de drainage

analyses statistiques indiquent en effet que ce facteur explique près de 20 p. cent du taux de dépérissement au seuil de probabilité de 95 p. cent;

Comportement du dépérissement par rapport à l'ouverture du couvert

Par l'analyse des données dendrométriques nous avons voulu voir si les coupes partielles ou les éclaircies dans les érablières pouvaient influencer le taux de dépérissement. Nous avons alors analysé le nombre de tiges, la surface terrière, le diamètre moyen et le volume marchand moyen pour les principaux types d'érablière déjà identifiés.

Il n'est pas possible, dans le cadre de cette conférence, d'analyser en détail toutes les relations entre ces données. Nous ne retiendrons, comme première approche, que la surface terrière.

À l'analyse des données, nous pouvons conclure qu'en général, plus la surface terrière est élevée, moins le dépérissement est élevé. Ceci est particulièrement évident pour l'érablière à bouleau jaune et hêtre et l'érablière à bouleau jaune et frêne noir, les deux types d'érablières les plus affectés par le dépérissement. En effet, pour l'érablière à bouleau jaune et hêtre (tableau 1), lorsque le dépérissement atteint moins de 10 p. cent, la surface terrière moyenne est de 32,7 $m^2$ à l'hectare. Par contre, lorsque les places d'études ont plus de 51 p. cent de dépérissement, la surface terrière n'est que de 15,3 $m^2$ à l'hectare. Notons aussi que la surface terrière des arbres morts passe de 0,36 à 2,8 $m^2$ à l'hectare.

Les érablières à bouleau jaune et frêne noir (tableau 2) qui ont de 11 à 25 p. cent de dépérissement ont une surface

TABLEAU 1
CARACTÉRISTIQUES DENDROMÉTRIQUES DE L'ÉRABLIÈRE À BOULEAU JAUNE ET HÊTRE SELON LA CLASSE DE DÉPÉRISSEMENT

| Classe de dépérissement (p. cent) | Nombre de parcelles | Nombre de tiges moyen[1] | | Surface terrière moyenne[2] | | Diamètre moyen | | Volume moyen[3] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | V[4] | M[5] | V | M | V | M | V | M |
| 0 à 10 | 2 | 585,00 | 20 | 32,66 | 0,36 | 27,00 | 14,9 | 275,51 | 1,80 |
| 11 à 25 | 13 | 468,46 | 10 | 25,82 | 0,44 | 27,11 | 14,91 | 213,73 | 3,10 |
| 26 à 50 | 6 | 346,67 | 33,33 | 22,57 | 3,75 | 29,33 | 25,3 | 193,91 | 39,05 |
| 51 et plus | 3 | 466,67 | 120 | 15,35 | 2,80 | 20,97 | 15,9 | 106,85 | 16,81 |

1 À l'hectare
2 Mètres carrés à l'hectare
3 Mètres cubes à l'hectare
4 V = arbres vivants
5 M = arbres morts

TABLEAU 2
CARACTÉRISTIQUES DENDROMÉTRIQUES DE L'ÉRABLIÈRE À BOULEAU JAUNE
ET FRÊNE NOIR SELON LA CLASSE DE DÉPÉRISSEMENT

| Classe de dépérissement (p. cent) | Nombre de parcelles | Nombre de tiges moyen[1] | | Surface terrière moyenne[2] | | Diamètre moyen | | Volume moyen[3] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | V[4] | M[5] | V | M | V | M | V | M |
| 11 à 25 | 2 | 470,00 | 5,0 | 31,73 | 0,15 | 29,90 | 9,75 | 274,26 | 0,94 |
| 26 à 50 | 2 | 530,00 | 20,0 | 17,42 | 0,42 | 20,2 | 8,2 | 114,79 | 2,39 |
| 51 et plus | 4 | 257,50 | 90,0 | 12,05 | 5,96 | 23,5 | 30,52 | 94,53 | 51,83 |

1 À l'hectare
2 Mètres carrés à l'hectare
3 Mètres cubes à l'hectare
4 V = arbres vivants
5 M = arbres morts

terrière de 31,7 $m^2$ à l'hectare alors que celles qui ont plus de 51 p. cent de dépérissement n'ont plus que 12 $m^2$ à l'hectare. La mortalité pour les mêmes classes de dépérissement passe de 0,15 à 5,96 $m^2$ à l'hectare.

À la suite de ces analyses, il nous est donc permis de conclure que les éclaircies et les coupes partielles qui provoquent une ouverture du couvert doivent être évitées actuellement, particulièrement dans les peuplements les plus fragiles.

Analyse factorielle des correspondances

Dans le but de déterminer les facteurs les plus significatifs dans l'évolution du dépérissement, nous avons effectué une analyse factorielle des correspondances sur 74 variables soit écologiques (pente, altitude, exposition...), soit dendrométriques (âge du peuplement, nombre de tiges à l'hectare...), soit pathologiques (caries, gélivures...), soit entomologiques (épidémie de livrée des forêts...), soit climatologiques (dégel, gel, sécheresses...), soit pédologiques (régime nutritif, pH...) (Roy, 1987).

Des 74 variables, l'analyse ne retient que 22 variables significatives surtout liées à la pathologie et à la pédologie. Les profils des érablières qui possèdent un taux de dépérissement supérieur à 50 p. cent (sévérité) sont:

- soit des érablières qui colonisent des sols lithiques, d'une épaisseur inférieure à 50 cm, où le dépôt est un till mince avec la présence d'affleurements rocheux. Ces érablières se rencontrent fréquemment sur des pentes supérieures à 21 p. cent;

- soit des érablières sur des sites à drainage imparfait que l'on rencontre dans des dépressions.

À l'intérieur de ces deux types d'habitats, les arbres semblent particulièrement affectés par divers insectes et maladies. En effet, l'analyse révèle que chaque arbre de ces érablières supporte simultanément deux maladies différentes ou une maladie et un insecte. En outre, plus de 41 p. cent des arbres présentent des blessures d'entailles et entre 16 et 20 p. cent des cimes montrent des symptômes de maladies, tels le flétrissement des feuilles, des nécroses, des chloroses, etc. La nature de ces facteurs pathologiques assujettie à une étude de dendrochronologie indique que ces arbres connaissent une importante baisse de vigueur depuis au moins sept ans.

L'analyse fait aussi ressortir que les érablières dépérissantes renferment surtout des arbres d'une hauteur de 15 mètres et moins. Cette caractéristique n'affecte sans doute que les érablières de haut de versant. Ce point tend à indiquer une certaine influence de l'altitude et de l'exposition.

Les critères pédologiques dégagés par cette analyse ne concernent que l'horizon B. Les résultats indiquent que le taux d'aluminium varie de 1,01 à 2,29 ppm. Ce sont les valeurs les plus élevées pour l'ensemble de notre échantillonnage. D'autre part, le pH de l'horizon B s'échelonne de 3,5 à 4,0 soit la classe de pH la plus acide de notre échantillonnage.

Carences dans le statut nutritif

Une étude comparative d'analyses chimiques de sol provenant des mêmes sites dont les échantillons ont été prélevés à plus de douze ans d'intervalle (Gagnon *et al.* 1986) révèle une légère diminution du pH, une diminution importante des cations échangeables potassium, magnésium et calcium et une augmentation de la matière organique et du rapport C/N dans la majorité des sols réanalysés.

De plus, l'étude du statut nutritif de l'érablière des Appalaches menée par le Dr Bernier de l'Université Laval démontrent des carences en potassium et en calcium dans les tissus foliaires. Dans plusieurs cas il existe également des problèmes de nutrition en phosphore (Bernier et Brazeau 1987).

Les causes du dépérissement

Il nous apparaît évident que ces résultats d'analyses chimiques des sols et des feuilles indiquent des perturbations importantes dans le statut nutritif des érablières du territoire québécois. Et lorsqu'on fait l'inventaire des causes qui peuvent provoquer une telle perturbation, le principal élément qui ressort est la pollution atmosphérique, particulièrement les dépôts acides. D'ailleurs, les données du réseau collecteur des précipitations acides du ministère de l'Environnement indiquent que les dépôts de sulfates et de nitrates pour un grand nombre de stations dépassent 40 kg par hectare par année (Grimard 1985) dans les endroits où on a fait des prélèvements de sol. Rappelons également la présence dans l'atmosphère de différents polluants comme le $SO_2$, l'ozone et des métaux lourds. Ainsi, l'interaction de ces divers polluants humides, secs et gazeux peut donc être envisagée comme le principal facteur incitant, responsable du déclenchement du dépérissement.

Il est évident que d'autres facteurs peuvent contribuer au dépérissement. Pensons, entre autres, aux facteurs habitats secs ou humides, aux arbres qui ont des caries ou à ceux qui ont subi l'assaut des insectes; pensons aussi aux peuplements dans lesquels on a pratiqué de fortes ouvertures du couvert récemment. Cependant, aucune de ces variables ne peut, à elle seule ou en combinaison, expliquer le déclenchement du phénomène.

Orientation de nos recherches

Les recherches que nous poursuivons touchent principalement deux aspects, soit celui de déterminer des moyens pour rendre les érablières moins vulnérables ou plus résistantes au dépérissement, soit celui de mesurer l'impact des différents stress environnementaux sur le dynamisme et la productivité des écosystèmes forestiers.

Dans le premier aspect, nous avons entrepris des expériences de chaulage et de fertilisation par micro-injection. Cette méthode est particulièrement intéressante dans le cas où le système racinaire, trop dégradé, ne peut absorber efficacement les éléments d'un fertilisant appliqué de façon conventionnelle.

Des essais de fertilisation conventionnelle seront également effectués dans les dispositifs qui ont été chaulés à l'automne 1985.

Soulignons que plusieurs chercheurs (Bernier et Brazeau 1987, Huettl 1987) affirment qu'il est possible de diminuer la progression du dépérissement des forêts par l'amélioration du régime nutritif en appliquant des engrais appropriés.

Dans le second aspect, nous sommes en train d'établir un réseau de places d'études permanentes afin de mesurer les divers stress environnementaux dont, entre autres, les polluants atmosphériques et leurs effets sur la productivité de l'écosystème. Ainsi, ce réseau va comprendre une vingtaine de places d'étude permanentes réparties à travers le Québec dans des peuplements feuillus et résineux. Selon les disponibilités, divers instruments pour mesurer les dépôts secs, gazeux et humides seront installés.

## Synthèse et recommandations

L'étude de l'influence des diverses variables écologiques sur l'état et sur l'évolution du dépérissement nous a amenés à analyser une quantité énorme de données mesurées et observées. Nous croyons que l'état d'avancement de nous travaux permet de faire une synthèse assez complète des éléments les plus importants et de tirer des conclusions utiles.

L'état actuel de nos analyses nous permet en effet d'énoncer les affirmations suivantes:

1- Les peuplements les plus affectés sont situés soit sur le sommet des montagnes et les sols minces et secs, soit dans les milieux humides. Les peuplements situés sur les sols plus riches et plus profonds que l'on trouve à mi-pente, dans le bas des pentes et dans la plaine du Saint-Laurent, sont affectés par le phénomène mais d'une façon plus modérée.

2- Nos résultats démontrent que le phénomène du dépérissement évolue de façon constante. Nous pouvons même évaluer l'espérance de vie des différents types d'érablières. Quelques-uns de ces types n'ont plus que quelques années avant que tous les arbres qui les composent soient affectés.

3- Au sujet du degré de participation de certaines variables écologiques dans l'évolution du dépérissement, nous sommes en mesure d'affirmer que l'entaillage et les diverses méthodes d'entaillage, les épidémies de livrée des forêts, le dégel de 1981, les sécheresses et la coupe des essences compagnes ne peuvent être retenus comme des variables qui causent le dépérissement puisque le phénomène est présent dans des érablières non entaillées ou non perturbées par les coupes et dans des régions

où il n'y a pas eu d'épidémies d'insectes ou de perturbations climatiques. On ne peut également attribuer le problème au champignon armillaire (*Armillaria mellea* (Vahl ex Fr.) Kummer) puisque celui-ci n'entre en action que lorsque les arbres sont déjà fortement dépéris.

4- Nous sommes en mesure d'affirmer cependant que les épidémies d'insectes, le dégel de 1981 et les sécheresses de 1982 et 1983 ont contribué à accélérer le dépérissement. En effet, nous retrouvons la présence de ces trois variables en même temps dans la région du Québec où l'évolution du phénomène a été la plus rapide.

5- À l'analyse de nos données, il nous est maintenant possible d'identifier à la pollution atmosphérique comme la cause principale du dépérissement. Plusieurs éléments nous permettent d'en arriver à cette conclusion. D'abord le phénomène du dépérissement apparaît et se développe de l'extérieur vers l'intérieur de la cime; ensuite les peuplements trop ouverts sont plus affectés par le dépérissement, ce qui rend les arbres plus vulnérables à la pollution environnante. Également, l'analyse de toutes les variables mesurées et observées n'a pas permis de dégager un ou des facteurs, autres que la pollution, pouvant être responsables du déclenchement du phénomène. Enfin, notre étude comparative des analyses de sol démontre des perturbations importantes dans les sols du Québec. L'état de nos recherches ne nous permet pas d'identifier tous les éléments pollueurs. Cependant, les précipitations acides nous apparaissent jouer un rôle important à causes des baisses de pH du sol et de la diminution des quantités d'éléments nutritifs disponibles et des carences nutritives détectées dans les feuilles.

Maintenant que nous avons identifié des causes principales et des causes accessoires au dépérissement, pouvons-nous suggérer des solutions?

La solution définitive du problème viendra, à notre avis, lorsque la pollution aura diminué à un niveau tolérable par l'écosystème. D'ici ce temps, il nous faudra vivre avec le problème et appliquer des cataplasmes.

Les mesures que nous pouvons recommander actuellement concernent l'aménagement. En effet, dans l'état actuel de nos connaissances, nous devons recommander d'éviter les coupes d'éclaircie puisque les peuplements ouverts sont beaucoup plus sensibles au dépérissement. On devra limiter les interventions à enlever les arbres morts ou presque. En faisant cette recommandation, nous sommes conscients d'aller à l'encontre de recommandations dictées jusqu'ici, qui consistent à éclaircir considérablement l'érablière afin d'obtenir des arbres possédant de grosses cimes. Mais devant le problème qui frappe nos forêts, il faudra peut-être même reconsidérer toutes les normes d'aménagement de la forêt.

Aux acériculteurs qui désirent mettre en production une nouvelle érablière ou un nouveau secteur de leur érablière, nous recommandons d'aménager les secteurs les moins vulnérables, soit les peuplements qui croissent à mi-pente ou dans le bas des pentes, sur des sols épais et bien pourvus en éléments nutritifs. Ce peuplements ont, en effet, une meilleure espérance de vie que ceux qui sont situés sur les sommets et les sols minces et secs ou situés dans les dépressions humides.

Soulignons aussi que l'amélioration du statut nutritif par des fertilisants appropriés semble freiner le dépérissement. Des recommandations plus précises concernant cet aspect seront bientôt disponibles.

## Bibliographie


BECKER, M. et G. LÉVY, 1983. *Le dépérissement du chêne: les causes écologiques.* Revue for. française XXXV (5): 341-356.

BENOÎT, P., G. LAFLAMME et D. LACHANCE, 1985. *Insectes et maladies des arbres. Québec 1984. Enquêtes spéciales.* Forêt Conservation 51(10): 22-31.

BERNIER, B. et M. BRAZEAU 1987. *Fertilisation des sols d'érablière en regard du dépérissement de la forêt: aperçu de nos travaux.* In. Colloque régional sur l'érable, 11 février 1987, min. de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, p. 56-64.

BORDELEAU, C., 1986. *Dépérissement des érablières, ampleur des dommages dans les Appalaches.* In: Dépérissement des érablière, journée d'information sur l'acériculture, 8 mai 1986; Conseil des productions végétales du Québec, p. 21-36.

BORDELEAU, C., 1987. *La carte des relevés aériens du dépérissement des érablières au Québec.* Service de la protection contre les insectes et les maladies, min. de l'Énergie et des Ressources, 2 p. + cartes.

BOUVAREL, P., 1984. *Le dépérissement des forêts attribué à la pollution atmosphérique.* Le Courrier de la Nature 94: 30-35.

CARRIER, L. 1986. *Le point sur le dépérissement des forêts du Québec.* Min. de l'Énergie et des Ressources du Québec. 29 p.

CLARK, J., 1961. *Birch dieback.* In: Recent Adv. Bot., University of Toronto Press. Toronto: 1551-1555.

GAGNON, G., G. ROY, C. GRAVEL et J. GAGNÉ, 1986. *État des recherches sur le dépérissement au ministère de l'Énergie et des Ressources.* In: Dépérissement des érablières, journée d'information sur l'acériculture, 8 mai 1986; Conseil des productions végétales du Québec p. 47-85.

GRIFFIN, H.D., 1965. *Maple dieback in Ontario.* For. Chro. 41: 295-300.

GRIMARD, Y, 1985. *Sommaire des données de la qualité des eaux de précipitations 1984.* Réseau d'échantillonnage des précipitations du Québec, Dir. des relevés aquatiques, min. de l'Environnement, PA-19, 99 p.

HUETTL, R.F., 1987. *Fertilization as a tool to remove "new type" forest damages.* Pre-Print. Symposium "Effects of air pollution on terrestrial and aquatic ecosystems" Mai 18-22, Grenoble, France, 7 p.

LACASSE, N.L. et A.E. RICH, 1964. *Maple decline in New Hampshire.* Phytopathology 54: 1071-1075.

LACHANCE, D., 1985. *Répartition géographique et intensité du dépérissement de l'érable à sucre dans les érablières au Québec.* Phytoprotection 66: 83-90.

POMERLEAU, R., 1944. *Observations sur quelques maladies non parasitaires des arbres dans le Québec.* Can. J. Res. C22: 171-189.

RICH, S. et G.S. WALTON, 1979. *Decline of curbside sugar maples in Connecticut.* J. Arboric. 5: 265-268.

ROY, G. 1987. *Influence de quelques variables écologiques, pédologiques, météorologiques et d'aménagement acéricole sur le taux de dépérissement des érablières.* Feuillet météorologique, min. de l'Environnement. Vol. XXV (4): 63-90.

VAN DOREN, B. 1986. *Dépérissement forestier... où est la vérité?* Bull. Soc. For. de Belgique 93(3): 150-160.

# LE DÉCLIN DES PEUPLEMENTS D'ÉRABLES EN ONTARIO : RAPPORT SUR LA SITUATION ACTUELLE ET SUR L'ÉTAT DES RECHERCHES

D. L. McLaughlin

Ministère de l'Environnement de l'Ontario
Direction des ressources atmosphériques
Section de phytotoxicologie

880 Bay St., 3e étage
Toronto (Ontario)
M5S 1Z8

Rédigé pour l'Érable en fête 1987
Grand-Sault
Nouveau-Brunswick
Les 12 et 13 juin 1987

## Le déclin des peuplements d'érables : un phénomène complexe

Le déclin des peuplements d'érables n'est pas un problème récent pas plus qu'il ne se limite à une seule région géographique. Ce phénomène a été signalé pour la première fois en 1913 en Pennsylvanie et au New Jersey (7). Au cours des années 1920 et 1930, on a signalé le déclin des peuplements d'érables dans plusieurs États du nord-est des États-Unis. La première période de déclin des érables signalée au Canada est survenue en 1947 et 1948 dans la région du centre de l'Ontario (14). Au cours des années 1950, on a signalé à de nombreuses reprises des cas de déclin dans les États de la région des Grands Lacs et en Ontario. Dans la région de la Beauce, située au sud de la ville de Québec, on a signalé des périodes de déclin des peuplements d'érables aussi tôt qu'en 1931-1932, puis à nouveau en 1962 (1).

Le nombre de périodes de déclin des érables à sucre semble s'accroître de façon spectaculaire. Par exemple, sur les 102 cas signalés en Ontario, 65 ont été enregistrés après 1975. On ne peut être certains toutefois, qu'il s'agit d'une augmentation réelle de l'étendue du problème, puisqu'il pourrait aussi s'agir tout simplement d'une augmentation de la fréquence des signalements résultant d'une sensibilisation accrue de la population aux questions environnementales. À l'heure actuelle, le déclin des peuplements d'érables constitue un problème dans certaines régions de l'Ontario (13), dans différents endroits situés un peu partout dans la grande région du Nord-Est américain et peut-être au Nouveau-Brunswick (15). Il ne fait toutefois aucun doute que la période de déclin la plus grave et la plus étendue de l'histoire récente est actuellement en cours au Québec dans une vaste région située principalement au sud de Québec (6).

Les symptômes les plus souvent observés dans les peuplements d'érables à sucre en déclin sont, entre autres, un feuillage anormalement petit et pâle ou chlorotique, une pigmentation automnale prématurée, une éclosion tardive des bourgeons au printemps et une chute précoce des feuilles à l'automne. Un

dépérissement terminal progressif de la couronne survient et commence habituellement par les petites branches situées au sommet et sur les flancs de l'arbre pour ensuite se déplacer vers l'intérieur du feuillage jusqu'à ce que des branches complètes soient mortes. Les entailles et autres blessures superficielles guérissent plus lentement, lorsqu'elles guérissent, et l'écorce tombe des branches mortes récemment. En outre, on observe fréquemment la pousse adventive de rejets sur le fût principal et à la base des grosses branches se situant sous la couronne. La mort de l'arbre survient habituellement après quelques saisons de croissance, même s'il est possible que des arbres touchés guérissent. L'épuisement des réserves d'amidon emmagasinées et une réduction de la biomasse des racines fines ainsi qu'une diminution de l'accroissement annuel ont été signalés chez les érables à sucre en déclin.

Les causes à la source du déclin des érables à sucre sont aussi nombreuses que les symptômes. La plupart des chercheurs en sont venus à la conclusion qu'aucun agent unique ne se trouve à la source de ce mal, mais qu'une période de déclin est habituellement provoquée par un ensemble de contraintes environnementales dont les effets s'accumulent et agissent en synergie. Le tableau 1 donne un sommaire des différents agents qui ont été désignés comme étant à la source des 189 cas de déclin des peuplements d'érables signalés un peu partout dans le nord-est de l'Amérique du Nord. Ces données indiquent que les insectes et maladies ont été désignés comme des agents favorisant le déclin dans un peu moins de 20 % des rapports signalant le déclin de peuplements d'érables. Dans un peu plus de 17 % de ces rapports, on indiquait que les conditions climatiques avaient contribué au déclin et dans environ 12 %, on a établi que la pollution avait contribué à ce déclin. Toutefois, dans 15,3 % des cas (12), on n'a pu établir avec précision les agents à la source du déclin. De toute évidence, le déclin des peuplements d'érables est un phénomène complexe dont les causes potentielles sont nombreuses.

Les relations entre les différents agents à la source du déclin des érables, ou du déclin de la forêt en général, ont été conceptualisées par Manion (11). Les nombreux agents biotiques ou synthétiques potentiellement à la source du déclin peuvent être décrits comme étant des facteurs favorisant le déclin, prédisposant au déclin ou contribuant au déclin. Les facteurs favorisant

le déclin sont des contraintes intenses, mais exercées à court terme qui peuvent provoquer une blessure soudaine et grave. À titre d'exemple de facteurs favorisant le déclin, citons les insectes défoliateurs comme la tordeuse du bourgeon de l'épinette ou la livrée des forêts, les conditions climatiques difficiles comme des gelées, des sécheresses ou des températures extrêmes, ou encore une exposition grave des arbres à la fumée ou à des polluants atmosphériques phytotoxiques comme le fluorure d'hydrogène ou le bioxyde de soufre. Les facteurs prédisposant au déclin sont des facteurs auxquels les arbres sont exposés à plus long terme. Ils comprennent, notamment, des contraintes climatiques moins intenses, un type de sol ou un site inapproprié, les antécédents génétiques de l'arbre, l'âge de celui-ci et un faible niveau de pollution atmosphérique chronique. Ce dernier type de facteurs exerce une contrainte permanente et rend l'arbre plus vulnérable aux effets des autres agents. Les facteurs contribuant au déclin sont des facteurs auxquels l'arbre est exposé à très long terme et qui sont à l'état endémique dans l'écosystème d'une forêt. Il s'agit, entre autres, des scolytes, des champignons chancreux, des champignons faisant pourrir la sève ainsi que des virus. Les facteurs contribuant au déclin peuvent s'attaquer plus aisément et peuvent même agir de façon plus virulente sur les arbres déjà affaiblis par des agents prédisposant au déclin ou le favorisant. Les agents contribuant au déclin peuvent tuer un arbre déjà affaibli. Habituellement, un arbre sain sur lequel les facteurs prédisposant au déclin ou le favorisant n'ont jamais exercé de contraintes est capable de résister aux infections provoquées par les contraintes de ce type et d'en guérir. Les polluants atmosphériques, comme les pluies acides et l'ozone, peuvent être considérés comme des facteurs prédisposant au déclin de la forêt ou contribuant à celui-ci.

## Recherches sur le déclin des peuplements d'érables en Ontario

En Ontario, le ministère des Ressources naturelles (MRN) a le mandat d'administrer les ressources forestières de la province. Les périodes de déclin des peuplements d'érables ont déjà fait l'objet d'enquêtes de la part du MRN. Cependant, dernièrement, la pollution de l'air, et plus

particulièrement les pluies acides, a été pointée du doigt comme cause possible du déclin des forêts. Les recherches sur les effets de la pollution relèvent du ministère de l'Environnement (MDE). Par conséquent, étant donné que l'on cherchait à établir si les polluants atmosphériques étaient responsables du phénomène, le MDE a joué un rôle de chef de file au cours des dernières recherches sur le déclin des peuplements d'érables.

Le MDE a amorçé des études exhaustives sur les pluies acides dans le milieu des années 1970. La plupart de ces recherches visaient à connaître les effets de ces précipitations sur l'écosystème aquatique ainsi que sur les sols et les récoltes, et comprenaient des études biogéochimiques sur des sites forestiers choisis en plus de donner lieu au lancement d'un programme de surveillance atmosphérique. En 1984, à la demande de l'Ontario Maple Syrup Producers Association (OMSPA), le MDE a lancé son premier programme conçu précisément afin de se pencher sur les relations éventuelles entre les pluies acides et le déclin des peuplements d'érables. Cependant, très tôt au cours de ces recherches, il est devenu évident qu'on manquait de données sur les conditions des forêts de feuillus ontariennes selon leur répartition géographique. Les arbres se trouvant sur les sites choisis pour les recherches sur le déclin des peuplements d'érables étaient-ils en meilleure condition que ceux se trouvant sur les lots boisés ailleurs dans la province, ou était-ce le contraire? En outre, la situation actuelle était-elle comparable à ce que l'on avait vécu lors des périodes de déclin précédentes? Aucune étude précédente ne permettait de répondre à ces questions élémentaires. Par conséquent, le MDE amorçait deux études complémentaires en 1985. La première consistait à établir quel était l'état de santé des arbres dans toutes les régions où l'on retrouvait des forêts de feuillus dans la province. La deuxième étude avait pour but d'analyser la croissance des érables à sucre dans trois régions géographiques distinctes.

Un relevé provincial... afin d'en savoir plus long sur la situation actuelle

En 1985 et en 1986, 110 sites permanents d'observation de la forêt ont été créés un peu partout dans les régions où se trouvent des forêts de feuillus en Ontario. De façon approximative, ces régions s'étendent sur toute la

superficie se trouvant au sud d'une ligne qui serait tracée de Sault-Ste-Marie à Sudbury, ce qui englobe la portion ontarienne de la région des Grands Lacs et du Saint-Laurent et de la région des feuillus au Canada (16). Trois sites ont également été créés dans la région de Thunder Bay où l'on retrouve quelques peuplements isolés d'érables à sucre, même si ces derniers se trouvent bien au nord de la zone de croissance habituelle de cette essence.

Sur chaque site, 100 arbres ayant un DHP (diamètre à hauteur de poitrine, soit à environ 1,3 mètre) supérieur à 10 cm ont été étiquetés. Par conséquent, le relevé portait sur 11 000 arbres. Une évaluation de l'état de santé de chaque arbre a été effectuée et la présence de défauts, comme des gélivures, des cicatrices de coupes, des chancres et des champignons, a été enregistrée. Des données sur les dimensions des arbres échantillonnés sur chaque site ont été recueillies et des échantillons de sol ont été prélevés afin de pouvoir les classer en fonction de leurs paramètres chimiques et physiques élémentaires. Des critères rigoureux de sélection des sites ont permis de s'assurer que les arbres ne subissaient les effets nocifs d'aucun centre urbain, d'aucune source de pollution atmosphérique, d'aucune voie de transport et que les peuplements sur les sites n'avaient pas fait l'objet récemment d'activités sylvicoles. Chaque site était constitué d'au moins 50 % d'érables à sucre. Toutefois, on n'avait procédé à aucune récolte de sève d'érable sur l'un ou l'autre des sites et nul d'entre eux n'avait fait l'objet de coupes au cours des 15 dernières années.

Une formule d'évaluation de l'état des arbres a été élaborée et tenait compte à la fois des caractéristiques des branches et du feuillage. Cette formule était suffisamment précise pour permettre de déceler des différences relativement subtiles dans la symptomologie du déclin du peuplement. Grâce à cette formule, on a pu donner des valeurs numériques aux différents symptômes touchant la couronne, ce qui a permis d'obtenir un indice de déclin (ID) pour chaque arbre.

Cet indice se situe entre 0 (arbre sain ne présentant aucun symptôme) et 100 (arbre mort). La formule permettant de calculer l'indice de déclin est :

$$ID = \%\,BM + (A \times \%\,FA) + (A \times \%\,ICF) + (A \times \%\,LCF/2)$$

où

ID = l'indice de déclin (0 à 100),

% BM = % de branches mortes,

% ICF = % important de chlorose du feuillage,

% LCF = % léger de chlorose du feuillage,

% FA = % de feuilles anémiques, et

$$A = \frac{100 - \%\,BM}{400}$$

Les différentes caractéristiques du feuillage ont été évaluées en fonction de la couronne vivante. Ce facteur est important, car même si l'on associe habituellement l'idée de déclin à une couronne à l'agonie (présence de branches mortes), lors des premières étapes du déclin d'un arbre, on note des modifications aux caractéristiques du feuillage. Par conséquent, le système de l'indice de déclin interprète les symptômes du feuillage comme un avertissement précoce que le déclin de l'arbre est déjà en cours.

Les résultats du relevé de l'état des feuillus sont résumés à la figure 1. Les cercles représentent les 110 emplacements des sites échantillons. La texture des cercles représente quelle est la situation de chaque site en ce qui a trait au déclin. Afin d'établir l'état d'un site en particulier, on s'est fondé sur l'ID moyen des 100 arbres choisis sur chaque site. Trois catégories de déclins ont été créées en se fondant sur la fréquence des différents indices de déclin individuels. Ces trois catégories sont : arbre sain - trace de déclin, ID inférieur à 12,5; déclin léger - modéré, ID entre 12,6 et 17,5; et déclin prononcé - grave, ID supérieur à 17,5.

Le relevé a permis de confirmer les premières observations voulant que le déclin des peuplements d'érables soit un phénomène isolé et clairsemé en Ontario. Cependant, des disparités régionales étaient évidentes. Le

tableau 2 donne l'ID moyen par section forestière. En Ontario, on a découpé la forêt en 10 sections (16) en se fondant sur la nature brute du sol et sur le régime macroclimatique. La zone de Parry Sound avait l'ID moyen le plus élevé (arbres en plus mauvaises conditions) et toute la bande de territoire s'étalant dans la portion du sud de l'Ontario à partir de la péninsule Bruce jusqu'à l'extrême nord du Lac Ontario avait l'ID moyen le plus faible (arbres dans les meilleures conditions). Les données du tableau 2 sont représentées schématiquement à la figure 2.

Le déclin des arbres n'était pas systématiquement relié aux caractéristiques physiques du sol comme la texture, la profondeur des carbonates, la profondeur du socle rocheux ou le degré d'humidité. De même, l'ID ne pouvait être associé à l'âge des arbres, à leur surface terrière ni à la densité du peuplement. Toutefois, les arbres qui présentaient des défauts importants comme des chancres et des gélivures étaient systématiquement dans un moins bon état, c'est-à-dire qu'ils possédaient un indice de déclin plus élevé.

L'érable à sucre constituait l'essence cible de l'étude et, dans les faits, représentait 78 % des arbres ayant fait l'objet d'une évaluation. Cependant, des données sur la condition des arbres de quinze autres essences ont également été recueillies. L'ID moyen de chacune des seize essences d'arbres ayant fait l'objet de l'étude sur les 110 sites est indiqué au tableau 3. Sept essences d'arbres comptaient moins de 100 spécimens; par conséquent, la valeur de l'ID n'est probablement pas représentative des conditions à l'échelle de la province. Les noms des essences comptant moins de 100 arbres sont inscrits en caractère gras au tableau 3. En ce qui concerne les essences pour lesquelles l'échantillonnage était supérieur à 100 spécimens, les données relatives à l'ID sont plus fiables. Ces données indiquent que l'érable à sucre connaît un déclin moins prononcé que la plupart des autres essences de feuillus en Ontario.

La répartition géographique des peuplements en déclin ne peut être associée que superficiellement au niveau de pollution atmosphérique. Même s'il est vrai que le déclin des peuplements est plus fréquent dans la région du sud-ouest de l'Ontario, où les degrés de pollution atmosphérique sont les plus élevés, on a établi que les indices de déclin des arbres les plus faibles

(arbres jouissant de la meilleure santé) ont été obtenus dans la région du centre de la province où la quantité de dépôts de polluants atmosphériques n'est que légèrement inférieure à celle de la région précédente. Par ailleurs, on semble rencontrer plus fréquemment des peuplements en déclin sur les sols peu profonds du bouclier précambrien, même si on compte de nombreuses exceptions à cette règle. Ces sols, en raison de leur faible capacité naturelle de tamponnage, sont potentiellement vulnérables aux modifications du pH associées aux pluies acides et les forêts se trouvant sur ces sites peuvent être prédisposées au déclin en raison du stress imposé sur leurs ressources nutritives par les solutions de lessivage acides. Cependant, plusieurs sites se trouvant sur l'île Manitoulin sont aussi durement touchés que de nombreux sites de la Baie Georgienne particulièrement vulnérables aux acides, même si le sol sur cette île, grâce à sa base calcaire, possède une bonne capacité de tamponnage, semblable à celle prévalant sur les sols de la portion sud de la région du centre de la province où les arbres sont en bien meilleures conditions même si les dépôts acides sont plus élevés.

En apparence, 110 sites et 11 000 arbres constituent un échantillonnage adéquat. Toutefois, on doit bien avoir à l'esprit que l'Ontario est une province très vaste. Il est difficile de localiser des sites qui sont vraiment représentatifs de la condition de la forêt sur une vaste superficie. Toutefois, le relevé dont il est question ici nous permet de recueillir des données de base importantes parce qu'il rend possible la cueillette de données très précises sur les tendances temporelles et spatiales en procédant à une réévaluation des sites. La répétition des observations en conservant la même méthodologie d'évaluation, sur les mêmes arbres aux mêmes endroits, permettra aux gestionnaires des ressources forestières d'établir si la santé des arbres s'améliore ou se détériore et à quels endroits de la province ces modifications surviennent.

**La croissance des érables à sucre s'est-elle modifiée avec le temps?**

La réponse la plus évidente à cette question est oui, puisque la croissance des arbres est un processus en constante évolution. La croissance est le

résultat cumulatif de tous les facteurs agissant sur un arbre à un moment donné. Certains facteurs influant sur la croissance d'un arbre, comme l'essence de cet arbre, la qualité de son emplacement et ses antécédents génétiques sont fixes et, par conséquent, ont une influence relativement constante sur la croissance de l'arbre. D'autres facteurs, comme le climat, les cycles des insectes et des maladies et la concurrence que lui font les autres arbres peuvent modifier de façon spectaculaire la croissance d'un arbre et provoquer des différences importantes dans un accroissement annuel.

Certaines études récentes laissent entendre qu'au cours des dix ou vingt dernières années, les arbres ont eu tendance à connaître une croissance moins poussée en raison de l'intensification de la pollution atmosphérique. Habituellement, l'accroissement des arbres s'exprime en fonction des anneaux de croissance annuels. Outre les nombreux facteurs qui peuvent influer sur l'accroissement annuel d'un arbre, il faut également tenir compte de la géométrie associée au vieillissement de l'arbre. Compte tenu de tous les autres facteurs, la largeur de l'anneau de croissance diminue à mesure que l'arbre vieillit. À mesure que l'arbre avance en âge, les anneaux s'étendent sur un fût dont la circonférence s'accroît constamment et par conséquent, pour un accroissement équivalent, la largeur de l'anneau de croissance semble proportionnellement plus étroite. Il est donc nécessaire d'annuler l'effet que l'âge d'un arbre peut avoir, ainsi que ceux des autres régulateurs de croissance naturels, avant que les répercussions des contraintes anthropogènes comme la pollution atmosphérique puissent être évaluées quantitativement.

Des fonctions statistiques d'uniformisation conçues afin d'éliminer les effets de la tendance au rétrécissement des anneaux de croissance à mesure que l'arbre vieillit ont été élaborées et ont connu un succès limité (5, 2). Lorsqu'on étudie les effets des sources d'origine des polluants atmosphériques, comme les cheminées industrielles, il est possible d'en dissocier les effets climatiques en comparant l'accroissement des arbres

étudiés avec celui de sites de contrôle se situant à l'extérieur de la zone de dépôt des polluants, mais suffisamment près des arbres étudiés pour que les deux sites partagent un régime climatique commun. Toutefois, les pluies acides constituent un polluant régional qui peut toucher de vastes régions. Par conséquent, il devient difficile, voire impossible, de trouver des sites de contrôle afin de comparer l'accroissement des arbres.

Parallèlement à son relevé de l'état des feuillus, le MDE a effectué en 1985-1986 une étude afin d'établir les tendances relatives à l'accroissement des érables à sucre en Ontario. L'objectif de cette dernière étude consistait à analyser en diachronie les caractéristiques régionales de l'accroissement afin d'en cerner les tendances temporelles, puis d'utiliser ces données de base afin d'établir des comparaisons avec d'autres études provinciales sur l'accroissement des arbres. La méthodologie employée était une variante de l'analyse de tiges que l'on appelle plus souvent "profil de l'accroissement" ou "analyse de la couche d'accroissement", cette dernière ayant été élaborée par l'Ontario Tree Improvement and Forest Biomass Institute du MRN de la province (3, 4). De manière très succincte, 54 érables à sucre parvenus à maturité ont été abattus et on a procédé au découpage de disques transversaux du tronc principal tous les 45 cm à partir du sol jusqu'à la couronne. En fonction de la hauteur des arbres, on a ainsi obtenu de 30 à 60 disques par arbre. L'épaisseur des anneaux de croissance a été mesurée à 0,01 millimètre près sur chaque disque le long de deux rayons. Ces données ont été utilisées afin de calculer l'augmentation annuelle de volume en décimètre cube ($dm^3$) pour chaque année et chaque arbre. En outre, on a créé un paramètre d'accroissement annuel que l'on a appelé augmentation de volume spécifique (AVS). On obtient l'AVS en divisant l'accroissement annuel du volume par la superficie de la largeur de l'anneau de croissance pour la même année. On utilise la largeur moyenne globale de l'anneau sur la hauteur totale de l'arbre. L'AVS est un moyen de mesurer avec précision l'activité cambiale et il a été prouvé qu'il s'agit d'un indice très précis permettant d'évaluer les modifications survenues dans l'accroissement annuel d'un arbre.

L'AVS constitue un moyen plus précis d'évaluer l'accroissement annuel d'un arbre que le simple fait de mesurer la largeur des anneaux de croissance à hauteur de poitrine comme c'est le cas lorsqu'on procède à la cueillette de carottes échantillons. Les études utilisant la méthode d'analyse de la couche d'accroissement ont démontré que la largeur des anneaux de la base de la couronne vivante constitue le phénomène le plus sensible aux facteurs environnementaux qui régularisent l'accroissement annuel d'un arbre. Même si l'analyse de la couche d'accroissement est une méthode très précise permettant de reconstituer l'histoire de l'accroissement d'un arbre, il s'agit d'une méthode qui exige beaucoup de temps et qui fait appel à une technologie informatique très spécialisée. En outre, il s'agit bien sûr d'une technique destructrice, car elle oblige à détruire l'arbre au complet afin de procéder à l'échantillonnage. En comparaison, la cueillette de carottes est une opération non destructrice, relativement simple et qui permet de procéder à des mesures précises grâce à plusieurs périphériques que l'on peut relier à un micro-ordinateur. Les données sur l'accroissement de la largeur des anneaux du coeur constituent un indice relatif de l'accroissement de l'arbre. Cependant, la largeur des anneaux à hauteur de poitrine n'est pas aussi sensible aux modifications environnementales annuelles que l'AVS et on ne peut l'utiliser afin d'établir une base de données volumétriques et de données reliées à la couche d'accroissement. Les données obtenues au moyen des carottes et de l'AVS sont toutes sujettes à des réductions à mesure que l'arbre avance en âge, même si cette tendance est moins prononcée dans le cas des données de l'AVS, car ces dernières portent sur du bois plus "jeune" provenant de la partie supérieure de l'arbre, soit la couronne.

L'étude sur l'accroissement des érables à sucre effectuée par le MDE de l'Ontario a également porté sur plus de 800 carottes provenant d'arbres adjacents aux 54 arbres abattus, afin de procéder à l'analyse des couches d'accroissement. Les arbres ont été échantillonnés dans trois sections distinctes de la forêt se trouvant toutes dans la région forestière des Grands Lacs et du Saint-Laurent (9), afin d'établir la chronologie de l'accroissement des érables à sucre pour les régions d'Ottawa, d'Algonquin et

de Sault-Ste-Marie. Les sites situés en altitude et dans les basses terres ont été évités tout comme l'ont été les sites qui avaient déjà fait l'objet de récoltes ou qui avaient fait l'objet d'autres activités de sylviculture au cours des quinze dernières années. Toutefois, les peuplements échantillonnés reposaient sur différents types de sols.

La courbe des AVS moyens pour chaque région apparaît à la figure 3. La courbe d'accroissement annuel moyen du volume pour les trois sections de forêts étudiées apparaît à la figure 4. L'âge moyen des arbres était de 111 ans et moins de 15 % de ces arbres étaient âgés de plus de 150 ans. L'arbre le plus vieux provenait d'un site situé près de Sault-Ste-Marie et on pouvait compter 345 anneaux de croissance sur le disque coupé dans sa partie la plus basse.

Les courbes d'AVS démontrent qu'il y a eu cinq périodes distinctes en ce qui concerne l'accroissement des érables à sucre en Ontario depuis environ 1800. La première tendance remarquée est une période de croissance très lente du début du XIX$^{e}$ siècle jusqu'aux années 1840. Il s'agit probablement d'une période où les jeunes plants ont été dominés en raison d'une densité très élevée et d'un ensoleillement faible caractéristique dans les forêts de feuillus non fréquentées par l'homme. Les taux d'accroissement ont eu tendance à augmenter sur les trois sites entre 1850 et 1910, période d'abattage intense des pins partout en Ontario. L'augmentation des taux d'accroissement est probablement attribuable aux résultats du dégagement associé à l'éclaircissement partiel des peuplements survenu lorsque les pins parvenus à maturité ont été abattus. Le taux d'accroissement des érables à sucre a augmenté à nouveau entre 1910 et le début des années 1940. Une fois que les réserves de pins blancs ont été épuisées, on a commencé à abattre des bouleaux jaunes et des érables à sucre parvenus à maturité. Les peuplements de feuillus ontariens ont fait l'objet de coupes sélectives agressives au cours de la première moitié du présent siècle, ce qui a permis de procéder à un dégagement qui a entraîné des taux d'accroissement rapides caractéristiques de cette période. En 1940, la plupart des feuillus de qualité avaient été abattus. Les taux d'accroissement ont donc eu tendance à plafonner entre 1940 et la fin des années 1960 à la suite d'une diminution de l'intensité des activités d'abattage et de la stabilisation des peuplements.

Jusqu'à environ 1970, les courbes d'AVS différaient d'une région à l'autre. Les érables à sucre de la région d'Ottawa ont eu un taux d'accroissement constamment supérieur à ceux de la région de Sault-Ste-Marie. Ce phénomène s'explique probablement par le fait que la région de Sault-Ste-Marie est la région la plus au nord des trois sites sélectionnés. Dans la région d'Algonquin, les érables ont eu le taux d'accroissement le plus faible jusqu'à environ 1910, année où l'accroissement annuel a augmenté de façon spectaculaire pour ensuite surpasser de façon continuelle les deux autres régions jusqu'à environ 1970. À ce moment, les courbes d'accroissement des trois régions se fondent et on entre dans une période de déclin de l'accroissement dont la durée et l'importance sont uniques au cours des 180 ans sur lesquels a portée l'analyse diachronique.

Un déclin simultané dans des régions géographiques distinctes laisse supposer que des contraintes environnementales généralisées ont été exercées. Les niveaux de pollution atmosphérique varient d'une région à l'autre. Les dépôts acides sont les mêmes dans les régions d'Algonquin et d'Ottawa (environ 25 à 30 kilos d'humidité sulfatée par hectare et par année) et un peu plus faibles dans la région de Sault-Ste-Marie (10 à 15 kilos par hectare et par année). De même, la région d'Algonquin et la région d'Ottawa ont des concentrations comparables d'$O_3$ pendant la saison de croissance, lesquelles sont plus élevées que celles constatées dans la région de Sault-Ste-Marie (en moyenne 35 ppmd par rapport à 20 ppmd pendant la période moyenne d'ensoleillement des saisons de croissance entre 1974 et 1981). La répartition de ces polluants atmosphériques en Ontario est illustrée aux figures 5 et 6.

Le taux d'accroissement des arbres a eu tendance à augmenter dans les régions pouvant compter sur un sol à grains fins et au pH élevé. Toutefois, ni l'un ni l'autre de ces paramètres ne semble avoir suffi à redresser la tendance actuelle au déclin. En outre, la profondeur du socle rocheux et l'âge des arbres ne sont pas non plus associés de façon constante à l'accroissement ni au déclin des arbres.

De 1975 à 1978, la plus grande partie du centre-sud de l'Ontario, qui comprend les trois régions sur lesquelles a porté l'étude, a connu une défoliation grave et étendue attribuable à la livrée des forêts (voir figure 7). L'invasion a atteint son sommet en 1976 et 1977 et certaines régions de la partie ouest de la région d'Algonquin ont subi deux défoliations au cours de la même saison de croissance.

Les effets attribuables aux défoliations graves et répétées sont faciles à constater. En effet, la courbe d'AVS pour cette période illustre une réduction importante de l'accroissement des arbres (figure 3). Par ailleurs, la perte d'accroissement volumétrique (figure 4) illustre de façon encore plus spectaculaire ce phénomène. Avant l'invasion d'insectes au début des années 1970, les érables à sucre des trois régions forestières étudiées connaissaient un accroissement volumétrique moyen d'environ 12 $dm^3$ par année. Cet accroissement a plongé soudainement sous les 7 $dm^3$ par année en 1977, année record en matière de défoliation des arbres. Même si l'accroissement des arbres a repris un peu de terrain perdu après la quasi-disparition des insectes, la tendance générale au déclin qui a suivi semble être encore plus grave après coup. Par conséquent, on peut dire avec certitude que la défoliation attribuable à la livrée des forêts est un facteur qui a nettement contribué au déclin récent de l'accroissement de ces arbres.

Le climat semble également avoir eu un rôle à jouer dans le déclin de l'accroissement des érables à sucre depuis environ 1970. Il est rare que l'accroissement des arbres en Ontario soit attribuable aux précipitations, particulièrement sur les sols riches et profonds où se situent les érables à sucre. Toutefois, des températures extrêmes au cours d'un mois particulier peuvent avoir des effets sur l'accroissement annuel des arbres, particulièrement chez les essences se situant à l'extrême nord de leur région de croissance habituelle. On a constaté que les températures moyennes d'un mois d'avril donné et celles du mois d'octobre le précédant immédiatement influent plus sur l'accroissement des érables à sucre que toute autre combinaison de températures mensuelles, et qu'elles prennent également plus d'importance en matière d'accroissement que les températures moyennes hivernales ou les températures moyennes au cours de la saison de croissance.

Des températures défavorables à l'automne peuvent empêcher la préparation des bourgeons et l'assimilation d'amidon pendant la période au cours de laquelle les arbres se préparent à entrer en dormance et accumulent les réserves nécessaires à une croissance précoce au cours de l'année suivante. Des températures défavorables au printemps nuisent à la sécrétion des hormones de croissance nécessaires à l'amorce de la croissance des jeunes pousses et des racines, et peuvent endommager les tissus nouvellement formés. Des relations semblables entre une combinaison de températures défavorables au printemps et lors de l'automne précédent, et l'accroissement des arbres, ont déjà été établies par le MRN en ce qui concerne les conifères du nord de la province (10).

Ces cas de contraintes thermiques semblent se produire de plus en plus souvent. Au cours de la période comprise entre 1900 et 1920, dans les trois régions forestières étudiées, on a constaté deux cas de contraintes thermiques de ce type, c'est-à-dire où les températures moyennes d'un mois d'avril et du mois d'octobre précédent étaient inférieures à la moyenne à long terme. Au cours des 20 années suivantes, de 1921 à 1940, on a compté neuf cas de contraintes thermiques de ce type. Il s'agissait là également d'une époque au cours de laquelle on abattait les feuillus parvenus à maturité. Par conséquent, l'augmentation de l'accroissement résultant de l'affaiblissement de la concurrence peut avoir compensé partiellement la réduction d'accroissement attribuable à des températures défavorables. De 1941 à 1960, on a compté quatre cas de contraintes thermiques, mais ce chiffre est passé à quinze de 1961 à 1984.

Dans les régions d'Algonquin et d'Ottawa, on a pu établir que les arbres avaient besoin d'un an pour se remettre d'une contrainte environnementale importante tandis que cette période a plus souvent été de deux ans dans la région de Sault-Ste-Marie située plus au nord. Il s'agit d'une période de récupération au cours de laquelle l'arbre reconstitue ses réserves. Par conséquent, les répercussions d'une contrainte environnementale peuvent s'accumuler si ces contraintes sont exercées à des intervalles relativement courts.

Si l'on en revient à la question soulevée au début de la présente section à savoir si le taux d'accroissement des érables à sucre en Ontario s'est modifié et si des tendances à cet effet sont évidentes, il nous faut répondre oui. Depuis environ 1800, on a pu déceler au moins cinq grandes périodes en ce qui concerne l'accroissement de ces arbres, y compris la toute récente réduction d'accroissement qui semble être unique au cours des 180 années sur lesquelles a porté l'étude. Même si les polluants atmosphériques sont sans aucun doute un facteur contribuant parce qu'ils constituent une contrainte environnementale supplémentaire sur un écosystème déjà fortement sollicité, ils ne constituent probablement pas un facteur prépondérant puisque ce phénomène se produit simultanément sur tous les types de sols et dans des régions où les concentrations de polluants sont différentes.

**Étude attentive du déclin des érables à sucre**

Comme nous l'avons mentionné brièvement auparavant, le MDE a amorcé, en 1984, une étude conçue spécifiquement afin d'analyser de façon exhaustive le déclin des érables à sucre sur des sites choisis. Onze lots boisés ont été choisis avec l'aide de la Maple Syrup Producers Association. Huit des sites étaient des érablières en exploitation et tous les lots boisés ont été choisis parce que le déclin des érables à sucre y était évident, même si la gravité du déclin différait d'un boisé à l'autre. Contrairement aux deux études dont nous avons déjà parlé dans le présent document, l'étude dont il est ici question portait délibérément sur des arbres en déclin.

Sur chaque site, un échantillonnage permanent d'observation a été constitué. Tous les arbres ayant un DHP supérieur à 10 cm y ont été évalués au moyen de la méthodologie d'évaluation des feuillus élaborée pour le relevé provincial. Les arbres en déclin et les arbres sains ont été identifiés et les échantillons ont été observés de façon intensive. On a recueilli des données

sur chaque arbre constituant l'échantillonnage. Notamment, des données sur les feuillages, le sol et les racines, sur les carottes prélevées, sur les insectes observés, les maladies, les chancres et autres blessures, et d'autres données sur le bois du collier de racines afin d'établir la quantité d'amidon. En outre, au moins deux arbres de chaque site ont été abattus afin de procéder à une analyse des couches d'accroissement. Les sites échantillonnés pour l'étude ont été choisis parmi différentes zones de dépôts de polluants et leur sol était soit un sol brunifié calcaire ou un sol acide podzolique.

Il semble qu'il n'y ait aucune relation entre l'indice de déclin moyen de chaque site et la densité du peuplement, la surface terrière ou la biomasse totale de l'échantillon. Cependant, les indices de déclin ont eu tendance à être plus élevés (arbres en mauvaises conditions) chez les arbres plus vieux, les arbres ayant déjà été entaillés pour la cueillette de l'eau d'érable et les arbres comptant plusieurs défauts sur leur tronc.

Les macroéléments présents dans le sol n'ont pas semblé constituer un facteur limitant l'accroissement dans aucun des échantillons de l'étude, même si les concentrations de substances nutritives étaient moins qu'optimales sur certains des lots boisés du bouclier précambrien ayant des sols podzoliques, si on les compare aux sols à grains fins que sont les sols brunifiés calcaires de la région du sud. Le pH des sols podzoliques était faible (en moyenne 4,8) et la concentration d'aluminium soluble y était relativement élevée (en moyenne 25 ppm). Par contre, les sols brunifiés avaient un pH pratiquement neutre (en moyenne 6,6) et les concentrations d'aluminium y étaient très faibles (moins d'une partie par million). Sans tenir compte de l'emplacement des échantillons et de la composition chimique des sols, on n'a pu établir aucune relation significative, statistiquement parlant, entre le déclin des arbres et la présence dans le sol d'un excès ou d'un manque de macroéléments ou de traces de métaux potentiellement toxiques comme l'aluminium. De même, la composition chimique des feuilles ne pouvait pas être associée de façon uniforme à la condition des arbres. On a constaté que celle-ci était extrêmement variable. Par exemple, les concentrations de macroéléments dans le feuillage de certains arbres en déclin sur un site étaient semblables ou

supérieures aux concentrations qu'on a pu mesurer dans le feuillage d'arbres sains sur des échantillons voisins dont le sol avait une composition chimique comparable.

Une mortalité accrue des racines fines, une baisse des réserves d'amidon dans les racines et une présence plus fréquente du pourridié (armillaria mallea) sont autant de phénomènes que l'on a pu observer chez les arbres en déclin. Les concentrations d'amidon dans les racines des arbres en déclin allaient de 3 à 14 % et se situaient en moyenne à 9,7 %. On a pu constater une tendance marquée à une très faible concentration d'amidon dans les racines des arbres gravement touchés par un déclin. En comparaison, la concentration d'amidon dans les racines des arbres sains se situait en moyenne à 12,7 % avec des minimums de 9 % et des maximums de 18 %. Souvent, les arbres dont la concentration d'amidon dans les racines est inférieure à 5 % meurent après quelques saisons de déclin (18).

La concentration d'aluminium dans les racines fines des arbres en santé et des arbres en déclin, sur les sites de l'étude ayant des sols de type podzolique, était sensiblement différente si l'on étudie les statistiques. La concentration d'aluminium dans les racines fines des arbres sains se situait en moyenne à 2 340 ppm, comparativement à 3 814 ppm dans les racines fines des arbres en déclin. Au contraire, les concentrations d'aluminium dans les racines des arbres se trouvant sur des sites dont le sol était de type brunifié étaient beaucoup plus faibles et on a pu établir des différences significatives entre les concentrations chez les arbres sains et les arbres en déclin (1 825 ppm pour les arbres sains et 1 612 ppm pour les arbres en déclin). L'aluminium est toxique pour les racines de tous les arbres. Toutefois, les concentrations toxiques varient énormément d'une essence à l'autre et très peu de recherches ont été effectuées en ce qui concerne la toxicité de l'aluminium pour les racines des érables à sucre. La présence accrue d'aluminium constitue une menace potentielle pour les forêts se situant sur des sols vulnérables aux modifications de structure attribuables aux précipitations acides, comme les sols de type podzolique, caractéristiques des vastes régions se situant sur le bouclier précambrien. Par conséquent,

des concentrations d'aluminium élevées peuvent constituer une contrainte contribuant au décès des racines sur les sites de l'étude dont le sol est de type podzolique et donc vulnérable à l'acidité.

L'accroissement des arbres sains et des arbres en déclin se trouvant sur tous les boisés échantillons de l'étude a été analysé en ayant recours à la fois à la méthode des carottes et à la méthode de l'analyse des couches d'accroissement. Les données sur la largeur des anneaux que l'on a pu recueillir en étudiant les carottes recueillies à hauteur de poitrine ont été corrigées afin d'annuler les effets de la tendance voulant que les anneaux soient plus étroits à mesure que l'arbre avance en âge (5). L'accroissement des arbres sains et des arbres en déclin a été à peu près semblable jusqu'en 1975, année à partir de laquelle l'accroissement a chuté de façon spectaculaire pendant deux ans. L'accroissement s'est par la suite amélioré chez les arbres sains, mais uniquement de façon marginale, et pas du tout chez les arbres en déclin. Ce constat laisse supposer que l'événement qui a provoqué le déclin actuel est survenu environ vers le milieu des années 1970. En outre, on a constaté que la largeur des anneaux est inférieure pour les 40 années après 1945, si on les compare aux 40 années écoulées avant 1945. Qui plus est, la réduction de l'accroissement est plus marquée dans les régions où la quantité de dépôts de polluants atmosphériques est supérieure. Le taux de réduction de l'accroissement s'est situé en moyenne à 13,7 % dans les régions où les dépôts de polluants sont les plus importants, à 10,6 % dans les régions où les dépôts sont moins importants et à 6,1 % sur l'échantillon de contrôle situé plus au nord, lequel reçoit le moins de dépôts de polluants atmosphériques. Les données sur la largeur des anneaux et sur les dépôts correspondants de polluants sont résumées au tableau 4. Après 1945, la consommation de combustibles fossiles et les émissions de polluants qui en ont résulté dans l'atmosphère ont connu une hausse substantielle. Même si, comme nous l'avons déjà mentionné, de nombreux facteurs influent sur l'accroissement des arbres, ces données laissent supposer que la réduction du taux d'accroissement sur une longue période, dans le cas qui nous occupe 40 ans, est survenue en même temps qu'une augmentation de la quantité de polluants atmosphériques en suspension. Il est nécessaire de procéder à des travaux

supplémentaires, particulièrement en ce qui concerne les fonctions de normalisation des anneaux, avant que l'on puisse établir si les réductions apparentes de l'accroissement sont réelles ou si elles sont sensiblement différentes des niveaux atteints avant que le phénomène de la pollution prenne l'importance actuelle.

L'analyse des couches d'accroissement nous a permis d'étudier de façon très détaillée la croissance des arbres échantillonnés et abattus. À la figure 8, on retrouvera le volume annuel de bois (en $dm^3$) produit par deux érables à sucre de 1895 à 1984. Tout comme les données obtenues au moyen des carottes prélevées, les données sur le volume générées par l'analyse détaillée des couches d'accroissement ont révélé que 1976 semble être l'année où le revirement s'est opéré. Les deux arbres sélectionnés étaient environ du même âge (110 ans), ont été abattus sur le même site et étaient exposés aux mêmes contraintes environnementales et, par conséquent, leur croissance à venir jusqu'en 1976 était tout à fait la même. En 1976, l'accroissement annuel des deux arbres a chuté à environ 5 $dm^3$ alors qu'il s'était situé à 14 $dm^3$ au cours de l'année précédente. En 1979, l'accroissement de l'arbre sain était revenu à un peu plus de 20 $dm^3$ tandis que l'accroissement de l'arbre en déclin a continué à baisser jusqu'à un minimum d'environ 3 $dm^3$. L'arbre qui, d'après les observations effectuées en 1984 était dans un état de déclin (apparition des symptômes visibles) était, dans les faits, en déclin physiologique depuis 1976. Tous les arbres ayant fait l'objet de l'étude présentaient le même profil.

Une recherche effectuée dans les registres d'épidémie d'insectes et des maladies a révélé que la zone de l'étude avait subi de graves défoliations attribuables à la livrée des forêts lesquelles ont commencé en 1975, pour atteindre un sommet en 1976 et 1977 et ont subsisté en 1978. Les registres de température indiquent une augmentation dans la fréquence des basses températures au printemps ainsi qu'une augmentation de la fréquence des périodes de sécheresse, concurrente et subséquente au moment de la défoliation attribuable aux insectes.

Les conclusions de l'étude sont donc que le déclin observé en 1984 et 1985 dans les terrains boisés sélectionnés au centre de l'Ontario a été provoqué par les défoliations répétées survenues au milieu des années 1970 et attribuables à la livrée des forêts. Les agents ayant contribué au déclin qui ont pu être identifiés comprenaient notamment les basses températures printanières, les périodes de sécheresse, l'âge des arbres et la présence de pourridié. Toutefois, les polluants atmosphériques, et particulièrement les pluies acides, ont sans aucun doute exercé une contrainte supplémentaire sur un écosystème forestier déjà attaqué de toutes parts et par conséquent, ceux-ci constituent probablement un facteur ayant contribué au déclin de la forêt en Ontario.

## Le déclin de l'érable et ses répercussions sur la production de sirop d'érable

L'Ontario Maple Syrup Producers Association (OMSPA) représente environ le tiers des producteurs de sirop d'érable en Ontario. Un sondage effectué à l'automne de 1985 a permis de recueillir à la fois des données concernant les techniques de production actuelles et les observations des producteurs quant aux répercussions du déclin des érables sur leur production. Voici un bref sommaire de certaines des données pertinentes obtenues au moyen de ce sondage.

En 1985, l'érablière moyenne avait une superficie de 25 hectares et le producteur moyen a entaillé 1 064 érables qui lui ont permis de produire 829 litres de sirop. La plupart des producteurs étaient des agriculteurs (48 %), même si les commerçants et les professionnels représentaient chacun 15 % du membership de l'OMSPA. Les revenus générés par la production de sirop d'érable sont considérés comme une partie peu importante ou insignifiante du revenu total de 80 % des producteurs. Cependant, le corollaire de ces derniers chiffres nous indique que 20 % des producteurs tirent un revenu substantiel, ou la principale partie de leur revenu total, de la production de sirop d'érable.

Une personne interrogée sur trois ayant répondu aux questions, a exprimé l'opinion que le déclin des feuillus constituait actuellement (1985) un problème dans son boisé, tandis que 70 % des répondants ont signalé avoir observé des symptômes de déclin sur au moins certains arbres. Sur les 33 % de répondants ayant signalé un problème de déclin, 72 % ont affirmé que le problème s'accentuait, 17 % ont répondu que la situation s'améliorait et 12 % ont affirmé qu'elle n'avait pas changé au cours des trois dernières années. Les arbres en déclin appartenaient à toutes les catégories d'âge et on en retrouvait sur tous les types de sites. Ces réponses corroborent d'autres données obtenues par le biais d'études provinciales dont les conclusions indiquaient que le déclin de l'érable en Ontario est un phénomène isolé, parsemé et qu'il n'est pas particulier à un site.

Même si le tiers des producteurs ont exprimé le sentiment qu'il était évident que leur érablière était en déclin, seulement 13 % d'entre eux ont affirmé que le volume de sève récoltée avait chuté au cours des cinq dernières années (dans 9 % des cas, le volume avait augmenté, dans 56 % des cas il était le même et 22 % ne le savaient pas). Par ailleurs, uniquement 10 % des répondants ont déclaré que la teneur en sucre de la sève avait chuté au cours de la même période (pour 4 % des producteurs elle avait augmenté, pour 54 % elle était la même et 33 % ne savaient pas). Les données sur la productivité correspondent généralement aux données obtenues sur la quantité de sève. En effet, 16 % des répondants au sondage ont affirmé que la production de sirop par entaille avait chuté au cours des cinq dernières années, 13 % ont signalé une augmentation, 18 % ne savaient pas et 53 % ont affirmé que la productivité n'avait pas changé. Le ratio moyen de productivité (c'est-à-dire le nombre de litres de sirop produits par nombre d'entailles) a été de 0,82.

Ces chiffres, si on les associe au récent boom du marché du sirop d'érable, indiquent que le déclin actuel des érables dans la province, même s'il inquiète les producteurs, ne semble pas avoir d'effets nocifs sur l'industrie du sirop d'érable en Ontario.

## Mesures correctives proposées

Il n'existe aucun remède instantané ni aucune méthode rapide de venir à bout du déclin des forêts. S'il est établi que les polluants atmosphériques sont un facteur important contribuant au déclin, les possibilités de trouver une solution rapide sont faibles parce que la réduction des émissions polluantes qui s'impose exige l'investissement de sommes colossales et ne pourra être que progressive et échelonnée sur une longue période. Sans tenir compte des causes à la source du déclin des forêts, des possibilités s'offrent aux propriétaires en matière de gestion des lots boisés et elles peuvent être appliquées dès maintenant. Ces mesures visent à améliorer l'état général de santé des arbres et peuvent peut-être empêcher leur déclin ou à tout le moins l'atténuer et, avec un peu de chance, amorcer la guérison des arbres atteints.

On trouvera dans les paragraphes qui suivent des propositions de mesures correctives qui découlent des principes de base de la dynamique forestière et de la physiologie des arbres. Ces mesures sont destinées particulièrement à la gestion des érablières. Toutefois, certaines réserves doivent être exprimées, car il est possible que ces mesures ne permettent pas d'obtenir chaque fois les résultats tant souhaités. En effet, les arbres connaissant un déclin grave en raison d'une mauvaise gestion évidente ou de contraintes environnementales aiguës peuvent ne pas réagir à des mesures sylvicoles appropriées.

1. **Adoption de mesures sylvicoles favorisant les érables dans les érablières**

   Ce principe peut sembler évident, mais ce n'est pas parce que l'érable à sucre est l'essence dominante sur un site particulier à l'heure actuelle que ce site est nécessairement un site privilégié pour cette essence. L'érable à sucre peut en effet constituer simplement l'essence résiduelle restante après que des essences plus prisées ou de meilleure qualité ont été abattues. L'accroissement des érables à sucre sur des sites qui lui conviennent particulièrement bien sera deux à trois fois supérieur à

l'accroissement d'un érable poussant ailleurs que sur un site de ce genre, et des arbres vigoureux sont moins vulnérables aux organismes secondaires provoquant le déclin.

Le producteur devrait concentrer ses efforts de gestion des érablières aux endroits où le sol est modérément profond, bien drainé et de texture moyenne. On retrouve habituellement ce type de site à mi-pente, ainsi que sur des plaines ou sur des plateaux légèrement accidentés. Les sommets et les crêtes trop bien drainés, les vallées et les terrains riverains mal drainés, et les sols très peu profonds ne devraient jamais être aménagés dans le but d'exploiter une érablière. Un lot boisé peut comporter de nombreux sites de types différents et le propriétaire devrait chercher à établir où le meilleur rendement peut être obtenu afin de limiter ses efforts d'aménagement et de concentrer ses ressources sur les sites présentant le plus grand potentiel de productivité.

2. Maintien de la composition naturelle de la forêt

La nature a ses raisons de combiner plusieurs essences d'arbres dans une même forêt. L'homme a réussi à comprendre certaines de ces raisons, mais d'autres lui échappent toujours. À la suite de décennies d'abattage d'essences sélectionnées et d'aménagements (parfois de mauvais aménagements) visant à maintenir une seule essence, il n'est pas rare que l'érable à sucre constitue 80 % ou plus de la surface terrière des peuplements dans les forêts de feuillus d'ombre de l'est du continent. Il ne s'agit pas là d'une condition naturelle. L'érable à sucre s'associe naturellement au bouleau jaune, au tilleul d'Amérique, au chêne rouge, au cerisier d'automne, à l'ostryer de Virginie, au frêne d'Amérique et au frêne noir, à l'orme, à l'érable argenté et à des conifères comme le pin blanc, la pruche, l'épinette blanche et rouge et le sapin baumier. Les associations naturelles d'essences peuvent atténuer la gravité de certaines maladies particulières à l'essence ainsi que les invasions d'insectes, favoriser le cycle des éléments nutritifs dans le sol, offrir des conditions de régénération plus favorables, modérer les effets du micro-climat qu'on retrouve sur le site et produire

un lot boisé dont le potentiel commercial et la valeur récréative sont plus élevés et dont l'attrait pour la faune est plus important.

Cependant, les producteurs de sirop d'érable ne peuvent obtenir de sirop en faisant bouillir de la sève de hêtre ou de bouleau; ils ont donc tendance à abattre les arbres non producteurs. Cette mesure encourage la monoculture de l'érable. Il est toutefois préférable d'entretenir une forêt saine et d'avoir à aller un peu plus loin de la cabane à sucre pour entailler des arbres vigoureux que d'entailler des arbres à proximité de la cabane, mais qui sont moins productifs et peut-être prédisposés au déclin en raison de ce manque de vigueur. En outre, une plus grande variété d'essences offre une diversité de marchés plus étendue pour les produits forestiers et présente donc une source de revenu potentiel plus polyvalente aux propriétaires.

Les conifères sont, possiblement, une exception au maintien des associations naturelles dans un boisé de feuillus. Le feuillage des conifères est très acide et modifie la composition chimique du sol à proximité des conifères. L'acidité résultant de la décomposition du feuillage des conifères peut venir enrayer le cycle des aliments nutritifs des feuillus. Cependant, les bosquets de conifères, et particulièrement de pruches, offrent aux chevreuils et aux orignaux des zones de pâturage, ce qui peut être appréciable même si, ce faisant, les ongulés peuvent empêcher la régénération des essences de feuillus. Par conséquent, la décision concernant la présence ou l'absence de conifères dans l'érablière dépend des objectifs du propriétaire.

3. Conservation d'arbres de tous les âges dans le peuplement

Les peuplements de tous âges permettent un renouvellement continu des arbres à entailler. La densité du peuplement et la distribution des spécimens par âge devraient être contrôlées afin d'empêcher la fermeture du couvert de manière que les arbres d'essences codominantes et les arbres en sous-étages ne soient pas dominés. Il ne faut jamais laisser un peuplement devenir trop mature, même si ces gros arbres à la couronne impressionnante et au tronc dénudé sont ceux qui conviennent le mieux à la production de sirop d'érable. La fermeture du couvert réduit de

façon spectaculaire la croissance des arbres en sous-étages, entraîne la stagnation des gaules ou leur déclin, et empêche toute régénération. Des arbres dominés sont moins vigoureux et par conséquent plus vulnérables aux organismes parasites entraînant la pourriture. Le taux d'accroissement de tous les arbres, et par conséquent du volume de bois total, est réduit si le peuplement est trop mature ou si le couvert est trop fermé.

4. **Éclaircies effectuées au moment approprié et dans un but précis**

Une éclaircie excessive ou effectuée à un moment inapproprié peut entraîner le déclin des arbres restants. L'érable à sucre est une essence d'arbre qui tolère bien l'ombre, ce qui signifie littéralement qu'un érable à sucre peut survivre même si l'ensoleillement est faible. Cependant, le corollaire de cette assertion ne se vérifie pas. En effet, l'érable à sucre ne peut survivre s'il est exposé à une intensité lumineuse trop forte. Une zone partiellement ombragée constitue le terrain idéal pour la croissance d'un érable à sucre. Une éclaircie massive a pour résultat d'augmenter de façon radicale l'intensité lumineuse à laquelle sont exposés les arbres restants, ce qui peut provoquer une augmentation de la fréquence des insolations et des gélivures. Ces blessures mécaniques constituent un terrain de prédilection pour les infections attribuables au pourridié et à tous les autres types de champignons et entraînent une perte de vigueur de l'arbre. Ces problèmes semblent particulièrement évidents si l'on procède à une éclaircie dans des peuplements dont la surface terrière est très faible ou très élevée. Un bon vieux conseil concernant les éclaircies et permettant d'éviter ces problèmes consiste à ne jamais retirer plus de 10 % de la surface terrière d'un peuplement en une seule année. Dans les peuplements très denses, on peut avoir à attendre plusieurs années avant de parvenir à la densité souhaitée pour ce peuplement.

Quelle est la meilleure densité? Les études sur l'accroissement effectuées par le ministère ontarien des ressources naturelles ont permis d'établir que l'accroissement maximum d'un érable à sucre se situe à environ 14 $m^2$ par hectare (environ 60 $pi^2$ à l'acre). De plus, après 20 ans, les arbres occupent tout l'espace d'accroissement disponible et leur croissance revient au niveau qui prévalait avant les éclaircies. Par conséquent, un cycle de coupe de 20 ans permettant d'éclaircir le peuplement à 14 $m^3$ à l'hectare maintient les peuplements d'érables à sucre à une vigueur maximale si on la mesure en fonction du taux d'accroissement.

5. **Activités d'éclaircie et la défoliation attribuable aux insectes**

La défoliation au cours de la première moitié d'une saison de croissance détruit les instruments de base de photosynthèse de l'arbre avant que les feuilles n'aient accumulé suffisamment d'énergie pour remplacer les réserves emmagasinées d'amidon, nécessaires à la pousse initiale du feuillage. En outre, dans des conditions climatiques favorables, les arbres ayant perdu leur feuillage tentent souvent de produire un nouveau feuillage. Ils consomment ainsi une quantité supérieure des réserves d'amidon emmagasinées et attaquent dangereusement leurs réserves d'énergie, lesquelles sont nécessaires afin d'assurer la croissance des racines et de se préparer à générer des bourgeons et à la dormance hivernale. Pour ces raisons, la défoliation aboutit souvent à la mort de plusieurs arbres, particulièrement si les conditions de croissance sont défavorables au cours des années qui suivent.

Par conséquent, on ne devrait jamais procéder à des éclaircies avant ou pendant une invasion d'insectes défoliateurs parce que si l'on ajoute aux arbres victimes des éclaircies les mortalités éventuelles associées à la présence d'insectes, il est possible que la surface terrière diminue beaucoup plus que de 10 % et on expose ainsi les arbres restants à l'insolation, aux gélivures et à un accroissement réduit en raison d'une trop forte intensité lumineuse. Les études fédérales annuelles sur les

insectes et les maladies constituent une source fiable concernant les activités des insectes dans une région donnée et on devrait toujours consulter ces études avant de procéder à des éclaircies.

Le même principe logique s'applique en ce qui concerne les éclaircies suivant immédiatement une épidémie d'insectes défoliateurs. Il est probable, qu'après l'épidémie, certains arbres soient morts et en procédant à de nouveaux abattages en vue d'éclaircir le peuplement, on court le risque d'accroître l'intensité lumineuse de façon excessive pour les arbres restants et on peut ainsi diminuer la vigueur des arbres plutôt que de l'augmenter. Cependant, les arbres morts devraient être enlevés. Il est souvent possible d'utiliser le bois des arbres ainsi abattus et du même coup, on enlève des points potentiels d'entrée de l'infection et on peut réduire la prévalence de certains organismes secondaires provoquant la pourriture.

6. **Activités d'éclaircie, antécédents génétiques des arbres et amélioration d'un peuplement**

Lorsqu'on procède à des éclaircies, il faut résister à la tentation d'abattre les arbres du boisé dont la valeur commerciale est la meilleure. De nombreuses caractéristiques que l'on souhaite que nos arbres possèdent, comme un taux d'accroissement important, une belle forme, la résistance aux maladies, la teneur en sucre de la sève et le volume de sève produite, sont des traits héréditaires inscrits dans les gènes de l'arbre. Par conséquent, en abattant les plus beaux arbres, on ne laisse dans le peuplement que les arbres les plus faibles. Les arbres qui constitueront à l'avenir la majorité des arbres du peuplement seront donc les descendants des arbres restants. Par conséquent, en procédant à des éclaircies de "haut de gamme", on diminue la qualité des arbres restants et on peut ainsi altérer de façon irrémédiable le potentiel génétique du peuplement. En réalité, ce sont les arbres de moins bonne qualité qu'il faut abattre si l'on désire stimuler la croissance des meilleurs arbres et améliorer le potentiel du peuplement restant.

7. **Réduction au minimum des activités de débusquage et des autres activités connexes**

Même si la racine principale d'un arbre peut s'enfoncer à plusieurs mètres dans le sol, tout dépendant de la texture et de la profondeur de ce dernier, les petites et fines racines nourricières qui alimentent l'arbre en minéraux et en humidité se trouvent à des profondeurs beaucoup moins grandes. Souvent elles s'enfoncent à moins de 30 centimètres de profondeur et parfois, elles prolifèrent dans la couche organique du sol. Tout dommage causé à ces fines racines provoque une perte directe et immédiate de vigueur pour l'arbre. Par conséquent, la construction de sentiers de débusquage, de voies d'accès au boisé et de chemins forestiers devrait se limiter au minimum et être planifiée de manière à ne causer que le minimum de perturbations possibles afin d'éviter d'endommager les racines des arbres restants. On doit toujours procéder aux activités de débusquage avec la machinerie la moins lourde possible et tenter de restreindre ces activités d'abattage à la période hivernale, car le sol gelé et la couverture de neige offrent aux racines une protection relative.

8. **Restriction de l'accès aux boisés et importance de ne pas en faire une zone de pâturage**

Même s'il s'agit presque d'un cliché, on ne répétera jamais suffisamment que les vaches sont de bien piètres sylvicultrices et que les boisés sont de piètres pâturages. Une vache en quête de nourriture piétine le sol, met à jour les racines et mange les jeunes plants. Les sols se compactent, ce qui nuit à la croissance des jeunes plants et empêche l'infiltration d'humidité dans la zone radiculaire. Les sabots acérés de ces animaux endommagent en outre le collier radiculaire des plus gros arbres, exposant ainsi l'arbre à une infection directe provoquée par des organismes entraînant la pourriture. Il faut de deux à dix hectares (5 à 25 acres) de pâturage en terrain boisé pour donner l'équivalent de substances nutritives que fournit un demi-hectare (un peu plus de 1 acre) de véritable pâturage. En outre, étant donné que les pâturages en terrain boisé ont un plus faible contenu en substances nutritives, les

vaches qui s'y nourrissent donnent moins de lait et de viande. Malgré ces facteurs bien connus des producteurs agricoles, un sondage mené récemment chez les producteurs de sirop d'érable ontariens a révélé que 32 % des répondants avaient utilisé leur boisé comme zone de pâturage au cours des dix dernières années.

9. **Abattage des arbres**

L'abattage des arbres, outre dans le cadre d'activités d'éclaircie bien planifiées et effectuées au moment approprié, devrait être évité. La plupart des producteurs de sirop d'érable abattent chaque année les arbres en déclin ou de peu de valeur. Il ne faut pas enlever ces arbres à moins qu'ils ne soient morts. La raison la plus évidente en est qu'on a souvent vu des arbres en déclin guérir. Ainsi, en procédant à l'abattage prématuré de ces arbres, il est possible que l'on se prive d'un arbre qui a toujours donné un bon rendement. Une autre raison de retarder l'abattage des arbres au maximum est d'empêcher les modifications radicales de l'intensité lumineuse à laquelle sont exposées les couronnes des arbres sains, codominants et adjacents. Comme nous l'avons déjà mentionné, l'érable à sucre est vulnérable aux insolations et aux gélivures. Si un arbre en déclin ne parvient pas à retrouver sa vigueur, la couronne mettra habituellement plusieurs saisons avant de mourir complètement. Cette détérioration progressive de la couronne des arbres touchés entraîne une augmentation échelonnée de l'intensité lumineuse et minimise ainsi l'effet de choc pour les arbres adjacents et les possibles problèmes de déclin qui y sont associés. Dans le même ordre d'idées, il faut éviter d'abattre les arbres par bosquets ou par groupes. Les clairières qui résulteraient d'une telle technique d'abattage peuvent provoquer le dépérissement terminal de la couronne des arbres restants aux alentours. En outre, afin de connaître une croissance maximale, les jeunes plants d'érables à sucre doivent se trouver dans une zone partiellement ombragée. Un ensoleillement direct et total favorisera la croissance d'autres essences d'arbres ou provoquera une prolifération de végétation au sol, laquelle peut très bien étouffer les jeunes plants.

## 10. Coupe sanitaire

En gardant les sous-bois bien dégagés, on contribue à garder le peuplement en bonne santé. Il faut enlever les arbres tombés, les débiter et empiler les bûches au même endroit. Il faut s'assurer que ces bûches ne sont pas envahies par des scolytes, car ces insectes peuvent constituer un catalyseur pour les autres organismes qui provoquent la pourriture des arbres, lesquels peuvent ensuite s'attaquer au bois sur pied. L'application d'insecticide sur la pile de bûches peut s'avérer nécessaire, et elle constitue une modalité d'entretien plus facile si tout le bois des arbres abattus a été débusqué et empilé au même endroit. Il faut se souvenir qu'il est préférable de travailler en hiver et de réduire au minimum les sentiers de débusquage et tous les autres facteurs susceptibles de perturber la croissance du peuplement. Les arbres possédant des chancres sont des candidats idéaux à l'abattage lorsqu'on choisit les arbres qui seront victimes d'éclaircies. Les bûches sur lesquelles on trouve des chancres ne doivent pas être empilées avec les autres. Ces bûches devraient être brûlées immédiatement afin de couper court à la prolifération de la maladie du chancre.

## 11. Considérations spéciales concernant la production de sirop d'érable

Entailler un arbre afin d'en récolter la sève constitue une contrainte supplémentaire. Il est toutefois difficile de quantifier jusqu'à quel point il s'agit là d'une véritable contrainte. Les estimations varient énormément, mais il est probable que l'entaillage enlève à l'arbre de 5 à 10 % de son volume de sève. Toutefois, il est également possible qu'il ne s'agisse que d'environ 5 % des réserves d'énergie totales de l'arbre.

Chaque entaille détruit une partie de l'aubier à proximité de la blessure provoquée par l'entaille. Après la saison des récoltes, la section de l'aubier qui a été touchée ne permettra plus jamais le passage de sève et ne pourra plus jamais emmagasiner de réserves d'énergie. Cette section

de l'arbre est morte, il s'agit de bois mort. Un arbre en santé récupère rapidement et efficacement en isolant la zone de la blessure afin d'empêcher les champignons d'envahir l'aubier intérieur et éventuellement de se répandre à l'intérieur de l'arbre. Les arbres dont la santé est moins florissante disposent de moins de mécanismes de défense et la zone touchée par la blessure peut ne pas se limiter à la zone entourant immédiatement l'entaille. Par conséquent, il ne faut jamais entailler des arbres qui présentent des symptômes de stress et de déclin et limiter le nombre d'entailles chez les autres arbres. Même si les règles habituelles d'entaillage laissent entendre qu'on peut augmenter le nombre d'entailles en fonction du diamètre d'un arbre, l'acériculteur devrait envisager de ne faire qu'une seule entaille par arbre. S'il est nécessaire de procéder à un plus grand nombre d'entailles, il est préférable d'entailler un plus grand nombre d'arbres plutôt que de procéder à plusieurs entailles sur un même arbre. Il ne faut jamais grouper les entailles, mais plutôt les répartir de manière hélicoïdale autour du tronc afin de limiter les possibilités d'entailler du bois mort au cours des saisons suivantes et d'éviter également que les blessures internes en voie de cicatrisation ne cernent l'arbre sur toute sa circonférence. Puisque le fait de récolter de la sève constitue une contrainte supplémentaire pour l'arbre, il ne faut pas récolter de sève les années où les arbres ont, ou auront, à subir d'autres contraintes environnementales importantes. Par autres contraintes de ce type, on entend notamment les printemps suivant un hiver exceptionnellement froid ou un hiver où la neige a été très peu abondante, la saison des récoltes suivant une sécheresse ou la défoliation attribuable à des insectes ou les années au cours desquelles, d'après les enquêtes gouvernementales, on prévoit une défoliation attribuable à ces mêmes insectes. Il est préférable de se résigner à perdre le bénéfice d'une saison que d'y investir les ressources nécessaires et n'obtenir qu'un rendement marginal ou, encore pire, imposer une contrainte supplémentaire à un écosystème déjà très sollicité et ainsi contribuer éventuellement à l'aggravation du déclin d'un peuplement.

Un médecin utilise toujours une aiguille propre lorsqu'il procède à une injection ou à un prélèvement sanguin. De même, pour chaque entaille, il faut utiliser une mèche de perceuse propre et y insérer un chalumeau propre. Il faut désinfecter la mèche complètement après chaque entaille afin de minimiser les risques de répandre une maladie d'un arbre à l'autre. Il faut percer le trou en donnant à la mèche de la perceuse un angle se dirigeant légèrement vers le haut de manière que lorsque le chalumeau sera retiré, le trou puisse se drainer plutôt que de retenir l'eau de pluie. On amoindrit ainsi les possibilités que des champignons provocateurs de pourriture ne s'y installent. On peut désinfecter les entailles avec une solution d'alcool dénaturé à 95 % ou avec de l'eau de javel mélangée avec de l'eau à raison de 5 parties d'eau pour une partie d'eau de javel.

La récolte de la sève au moyen de tubulures présente des avantages évidents sur la méthode de récolte traditionnelle avec des seaux. Cependant, d'autres facteurs font de la tubulure la méthodologie privilégiée de nos jours. La tubulure permet une plus grande économie d'échelle. Il devient beaucoup moins coûteux d'augmenter le nombre d'entailles. Toutefois, il ne faut pas augmenter le nombre d'entailles par arbre, mais plutôt augmenter le nombre d'arbres entaillés. De plus, la récolte au moyen des tubulures n'oblige pas l'acériculteur à se rendre souvent à ses arbres afin de vider les seaux. Par conséquent, on réduit d'autant le nombre d'allées et venues dans l'érablière tôt au printemps et on réduit ainsi les risques d'endommagement des racines toujours présents lorsqu'on remue le sol.

## 12. Fertilisation et chaulage

La fertilisation ou le chaulage permet-elle de réduire la gravité du déclin des feuillus ou encore permet-elle à un boisé actuellement en déclin de reprendre de la vigueur? On est parvenu, dans le cadre d'études effectuées en Europe et au Québec (8) à réduire, dans certains cas, la gravité de la symptomologie du déclin de la forêt. Une théorie répandue concernant la cause du déclin des forêts veut que les sols de

la forêt soient peu à peu lessivés des éléments nutritifs essentiels aux arbres plus rapidement que l'écosystème de la forêt et du sol peut les remplacer en raison de la présence de polluants atmosphériques dans la pluie, ce qui provoque un manque d'éléments nutritifs pour les arbres. Même si les modifications survenues dans la fertilité d'un site ne sont pas directement associées au déclin des arbres, on peut parvenir à améliorer la santé et à faire gagner de la vigueur aux arbres par le biais de la fertilisation, particulièrement aux endroits où la quantité d'éléments nutritifs laisse à désirer. En effet, des arbres vigoureux, en santé et en pleine croissance sont moins vulnérables aux autres contraintes, y compris les polluants atmosphériques.

Cependant, on ne peut procéder à l'application de fertilisants qu'après avoir pris connaissance du pH du sol et en étendant des mélanges équilibrés afin d'éviter les effets secondaires toujours possibles. Par exemple, les sols acides (dont le pH est faible) contiennent plus d'éléments nutritifs sous forme minérale, mais réduisent l'activité microbienne nécessaire à la décomposition des matières végétales qui se déposent sur le sol de la forêt, ce qui réduit d'autant le rythme du cycle de régénérescence des éléments nutritifs. En outre, les sols acides ont une teneur en aluminium plus élevée, ce qui peut endommager les racines et empêcher la génération d'éléments nutritifs. En ajoutant de la chaux afin d'élever le pH du sol, on stimule la décomposition microbienne et on réduit la présence d'aluminium, mais la quantité relative d'éléments nutritifs minéraux en sera diminuée d'autant.

Les chercheurs du Collège Macdonald de l'Université McGill de Montréal ont lancé un programme d'"aide à l'érable" dont l'objectif est d'élaborer des lignes directrices de fertilisation des érables à sucre à l'intention des producteurs de sirop d'érable de cette province. Ils ont constaté que les concentrations des éléments suivants dans le feuillage représentent des niveaux normaux et des niveaux critiques ou déficients pour les érables à sucre du Québec.

| Élément | Normal | Critique/Déficient |
|---|---|---|
| N | 2,19 % | 1,5 % |
| P | 0,13 % | 0,08 % |
| K | 0,7 % | 0,6 % |
| Ca | 1,10 % | 0,7 % |
| Mg | 0,12 % | 0,09 % |

(Extraits de communications personnelles entre W. Hendershot et A. Jones.)

En outre, des concentrations d'aluminium dans les feuilles supérieures à 0,009 % (90 ppm) peuvent être potentiellement toxiques. Les chercheurs de l'Université McGill ont en outre suggéré l'épandage de chaux ($CaCO_3$) ou de chaux dolomitique (Ca, $MgCO_3$) afin d'élever le pH des sols acides et d'épandre du $K_2SO_4$ afin de rabaisser ce pH si nécessaire. La modification du pH du sol est souvent une mesure insuffisante puisque la quantité d'éléments nutritifs dans le sol est directement reliée à sa composition chimique. Par conséquent, si les concentrations d'éléments nutritifs dans les feuilles sont sous les niveaux normaux (tel qu'on peut l'établir grâce au tableau ci-dessus) et qu'on utilise de la chaux afin de relever le pH du sol, on peut ensuite ajouter des fertilisants supplémentaires afin de maintenir ou d'augmenter la quantité d'éléments nutritifs dans le sol.

Les chercheurs de l'Université McGill conseillent d'étendre de la chaux et d'autres fertilisants dès que la neige a fondu au printemps et de ne jamais étendre plus de 400 kilos de chaux ou de $K_2SO_4$ par hectare de terrain. Un excédent de chaux ne fait pas que réduire la quantité de macroéléments; il empêche également la formation de mycorhize sur les racines des arbres, ce qui peut empêcher celles-ci d'absorber les microéléments que sont le bore (B) et le manganèse (Mn). Par conséquent, le bore et le manganèse peuvent constituer des additifs bénéfiques au mélange de fertilisants en plus des autres macroéléments que l'on doit épandre de concert avec de la chaux.

Il n'est pas recommandé d'appliquer de trop grandes quantités de fertilisants. Les arbres ont tendance à absorber tous les macroéléments qu'ils peuvent et non pas uniquement ceux dont ils ont besoin. Il a été démontré qu'une trop forte présence d'azote dans le sol réduit la résistance des arbres aux températures froides et par conséquent augmente les risques d'endommagement provoqués par les gelées automnales.

La fertilisation d'un boisé est une opération qui coûte cher et exige beaucoup d'efforts de la part du propriétaire et, même si cette technique a démontré des possibilités intéressantes au cours des dernières années, des résultats positifs n'ont pu être obtenus sur tous les types de sites. La connaissance du sol et de la composition chimique foliaire du boisé est nécessaire afin d'élaborer un programme de fertilisation dans des quantités appropriées. Ces renseignements sur la composition chimique sont souvent difficiles et coûteux à obtenir et la fiabilité des données dépend souvent de la cueillette d'échantillons vraiment représentatifs. La méthode la plus simple consiste à effectuer quelques essais avec de la chaux et des fertilisants dans le boisé que l'on désire fertiliser afin d'établir quels produits semblent convenir le mieux à un site particulier. Cette méthode exige qu'on y consacre plus de temps et demande plusieurs saisons de traitements et d'observations attentives, mais elle permet d'obtenir des résultats qui devraient indiquer la meilleure combinaison de produits à épandre sur un boisé particulier et peut éviter au propriétaire de consacrer des sommes importantes à un programme de fertilisation générale dont l'efficacité pourrait être moindre.

## Conclusions

Même si le déclin des érables soulève beaucoup d'inquiétudes dans certaines régions de l'Ontario, il ne s'agit pas, à l'heure actuelle, d'un problème aussi grave et aussi répandu qu'il peut l'être au Québec. Les études de base effectuées permettent aux chercheurs ontariens de surveiller les forêts de feuillus de la province afin de déceler avec précision toute nouvelle détérioration de la situation ou toute amélioration de celle-ci. Des recherches continues se poursuivront afin d'établir quelles sont les relations entre l'écosystème forestier et la pollution atmosphérique.

Les résultats obtenus à ce jour semblent indiquer que la pollution atmosphérique est une contrainte supplémentaire exercée sur un système terrestre qui est déjà fortement éprouvé par une série de phénomènes naturels concurrents ou séquentiels, comme les épidémies d'insectes défoliateurs, des conditions climatiques défavorables et les champignons provoquant la pourriture des arbres.

Même si 33 % des producteurs de sirop d'érable de l'Ontario qui ont répondu à un sondage récent ont déclaré qu'à leur avis, le déclin des érables constituait au moment du sondage un problème dans leur érablière, les statistiques relatives à la production fournies par ces mêmes producteurs ont révélé que le volume de sève récoltée, la teneur en sucre de celle-ci et la productivité globale n'avaient pas changé de façon significative au cours des cinq dernières années. Par conséquent, il ne semble pas que le déclin des érables, au niveau où il se situe actuellement en Ontario, ait des répercussions négatives sur l'industrie du sirop d'érable.

Remerciements

Le succès d'un programme de recherches repose sur l'intégration des compétences de nombreux professionnels et techniciens. Les recherches sur le déclin de la forêt effectuées par le MDE ont pu être effectuées grâce à une équipe composée de Bill McIlveen, pathologiste, Dianne Corrigan, spécialiste des sols et Sam Linzon, directeur de la Section de phytotoxicologie. Rob Arnup des Services écologiques de Planning Ltd., a été le directeur du projet en ce qui a trait au relevé et aux études d'accroissement subventionnées par le MDE. Don MacIver, Harvey Anderson et Dave Fayle (MRN) ont apporté un concours précieux à ces recherches. Archie Jones et Willy Hendershot de l'Université McGill méritent beaucoup de reconnaissance pour leur travail dans le domaine de la fertilisation des boisés de feuillus. John Butler (OMAF) et tous les membres de l'Ontario Maple Syrup Producers Association ont collaboré en fournissant les sites de l'étude. Je désire remercier toutes ces personnes ainsi que les nombreuses autres qui nous ont aidés dans le passé et qui continueront à nous aider dans l'avenir afin que nous puissions poursuivre nos recherches sur les relations entre le déclin de la forêt et les polluants atmosphériques.

Ouvrages cités

1. Ministère canadien de l'Agriculture, 1962, Federal Insect and Disease Survey, p. 48.

2. Cook, E.R. et K. Peters, 1981, The Smoothing Spline: A New Approach to Standardizing Forest Interior Tree-Ring Width Series for Dendroclimatic Studies, Tree-Ring Bulletin, Vol. 41, pp. 45-53.

3. Fayle, D.C.F. et D. MacIver, 1986, Growth Layer Analysis as a Means of Examining Tree Growth and Development Responses, Proc. of the Mensuration, Growth and Field Instruments and Methods in Forest Mensuration Workshop, du 23 au 27 sept., Durham (N.-H.) U.S. Forest Service, Misc. Publ., 691, pp. 40-48.

4. Fayle, D.C.F., D. MacIver et C.V. Bentley, 1983, Computer Graphing of Annual Ring Widths During Measurement, The Forestry Chronicle, Déc., pp. 291-293.

5. Fritts, H.C., 1971, Dendroclimatology and Dendroecology, Quaternary Research 1, pp. 419-449.

6. Gagnon, G., L. Robitaille, L. Roy et C. Gravel, 1985, Dieback in Maple Stands - the Behaviour of Some Ecological Variables, presented at the NATO Advanced Research Workshop on Effects of Acidic Deposition and Air Pollutants in Forests, Wetlands and Agricultural Ecosystems, Toronto, pp. 1-17.

7. Hartley, C. et T.C. Merriel, 1915, Storm and Drought Injury to Foliage of Ornamental Trees, Phytopathology 5, pp. 20-29.

8. Hendershot, W. et A.R.C. Jones, Macdonald College of McGill University, Montréal (Québec), communications personnelles.

9. Linzon, S.N., R.G. Pearson, J.A. Donnan et F.N. Durham, 1984, Ozone Effects on Crops in Ontario and Related Monetary Values, Ontario Ministry of the Environment, Rapport No ARB-13-84-Phyto., p. 65.

10. MacIver, D., Ontario Ministry of Natural Resources, communications personnelles.

11. Manion, P.D., 1981, Decline Diseases of Complex Biotic and Abiotic Origin, Tree Disease Concepts, Prentice-Hall Inc., Englewood (NJ) pp. 324-339.

12. McIlveen, W.D., S.T. Rutherford et S.N. Linzon. 1986. A Historical Perspective of Sugar Maple Decline Within Ontario and Outside Ontario, Ontario Ministry of the Environment, Rapport No ARB-141-86-Phyto.

13. McLaughlin, D.L., S.N. Linzon, D.E. Dimma and W.D. McIlveen, 1985, Sugar Maple Decline in Ontario, Ontario Ministry of the Environment, Rapport No ARB-144-85-Phyto.

14. Nordin, V.J., 1954, Studies in Forest Pathology, XII, Decay in Sugar Maple in the Ottawa-Huron and Algoma Extension Forest Region of Ontario, Canadian J. Botany, 32, pp. 221-258.

15. Norton, P., 1985, Decline and Fall, Harrowsmith, 60, pp. 24-35.

16. Rowe, J.S., 1972, Forest Regions of Canada, Dept. of Fisheries and the Environment, CFS Pub. No. 1300.

17. Tang, A.J.S., A. Ahmed et M.A. Lusis, 1986, Summary: Some Results from the APIOS Atmospheric Deposition Monitoring Program (1981-1984), Ontario Ministry of the Environment, Rapport No ARB-011-86, p. 33.

18. Wargo, P.M. and D.R. Houston, 1974 Infection of Defoliated Sugar Maple Trees by Armillaria mellea, Phytopathology, 64, 6, pp. 817-822.

TABLEAU 1 - Sommaire des agents à la source du déclin des érables à sucre dans le nord-est de l'Amérique du Nord*

| Agent responsable | | % de signalements** |
|---|---|---|
| Champignons armillaria des racines | | 5,8 |
| Autres maladies | | 13,8 |
| **Total, maladies** | 19,6 | |
| Livrée des forêts | | 7,4 |
| Nématodes | | 2,6 |
| Autres insectes | | 9,6 |
| **Total, insectes** | 19,5 | |
| Conditions climatiques défavorables | | 10,6 |
| Sécheresse | | 6,9 |
| **Total, conditions climatiques** | 17,5 | |
| Sel | | 5,3 |
| Herbicides | | 2,6 |
| Pollution atmosphérique | | 2,2 |
| Pluies acides | | 2,1 |
| **Total, pollution** | 12,2 | |
| Méthodes de culture | | 3,2 |
| Blessures mécaniques | | 2,6 |
| Déficience nutritive | | 2,2 |
| Causes inconnues | | 15,3 |
| Autres causes | | 7,9 |

* Adapté de McIlveen et Rutherford, 1986.
** Fondé sur 189 rapports publiés et portant sur le déclin des érables dans le nord-est de l'Amérique du Nord.

TABLEAU 2 - Indice de déclin moyen (toutes essences confondues) pour chaque section forestière*

| Région forestière | Section forestière* | Indice de déclin moyen | Nombre d'échantillons | Proportion exprimée en % |
|---|---|---|---|---|
| GL-St.L | 4A Laurentienne | 10,3 | 2 | 1,8 |
| GL-St.L | 1 Huron-Ontario | 10,9 | 18 | 16,4 |
| GL-St.L | 2 Haut St-Laurent | 12,5 | 9 | 8,2 |
| GL-St.L | 4C Middle Ottawa | 13,6 | 6 | 5,5 |
| GL-St.L | 4B Algonquin - Pontiac | 14,0 | 16 | 14,5 |
| Feuillus | 1 Niagara | 14,4 | 20 | 18,2 |
| GL-St.L | 11 Quetico | 15,3 | 3 | 2,7 |
| GL-St.L | 10 Algoma | 15,5 | 11 | 10,0 |
| GL-St.L | 4E Sudbury - North Bay | 15,7 | 13 | 11,8 |
| GL-St.L | 4D Georgian Bay | 17,3 | 12 | 10,9 |
| Total | | | 110 | 100,0 |

* Tel que l'a défini Rowe en 1972, il n'y a que deux régions forestières en Ontario, la région des Grands Lacs et du Saint-Laurent (GL-St.L) et la région des feuillus (feuillus), tandis qu'il y a dix sections forestières à l'intérieur de ces régions forestières.

**TABLEAU 3 - Indice moyen de déclin des 16 essences de feuillus en Ontario**

| Essences d'arbres | Indice de déclin moyen | Nbre d'arbres d'échantillonnage | Proportion exprimée en pourcentage du nombre total d'échantillons de l'étude |
|---|---|---|---|
| Frêne noir | 11,3 | 39 | 0,37 |
| Caryer cordiforme | 11,5 | 93 | 0,89 |
| Érable à sucre | 12,4 | 8227 | 78,34 |
| Hêtre | 13,8 | 333 | 3,17 |
| Tilleul d'Amérique | 18,2 | 332 | 3,16 |
| Frêne d'Amérique | 18,7 | 407 | 3,88 |
| Bouleau jaune | 20,5 | 180 | 1,71 |
| Érable rouge | 20,6 | 334 | 3,18 |
| Chêne rouge | 22,1 | 159 | 1,51 |
| Bouleau blanc | 23,4 | 109 | 1,04 |
| Peuplier faux-Tremble | 26,8 | 59 | 0,56 |
| Noyer cendré | 28,9 | 5 | 0,05 |
| Cerisier noir | 30,5 | 175 | 1,67 |
| Peuplier baumier | 32,2 | 34 | 0,32 |
| Orme d'Amérique | 44,1 | 11 | 0,10 |
| Chêne blanc | 49,4 | 5 | 0,05 |
| Total | | 10 502* | 100,00 |

* Les 498 arbres manquants sont des conifères, lesquels ne font l'objet d'aucune évaluation.

Dans le cas des essences où l'échantillonnage est inférieur à 100 spécimens, ces échantillons ne sont probablement pas représentatifs des conditions dans la province.

**TABLEAU 4 - Largeur des anneaux de croissance des érables à sucre et quantité de dépôts de polluants atmosphériques dans trois régions de l'Ontario**

| Région | Largeur moyenne des anneaux* | | % de différences avant et après 1945 | Quantité de dépôts de polluants atmosphériques | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1905-1944 | 1945-1984 | | $SO_4$** | N** | $O_3$*** | pH |
| Thunder Bay | 1,15 | 1,08 | - 6,1 | 12 | 3 | <20 | 4,8 |
| Muskoka | 1,23 | 1,10 | - 10,6 | 34 | 9 | 40 | 4,2 |
| Peterborough | 1,24 | 1,07 | - 13,7 | 43 | 8 | 50 | 4,2 |

* Les chiffres inscrits concernant la largeur des anneaux l'ont été après le recours à une fonction d'uniformisation créée par Fritts en 1966.

** Total de dépôts humides et secs moyens de 1981 à 1984 d'après Tang et al, 1986.

*** Moyenne d'ensoleillement de 7 heures (0900 - 1600 HNE) de juin à août, moyenne de 1974 à 1981 d'après Linzon et al, 1984.

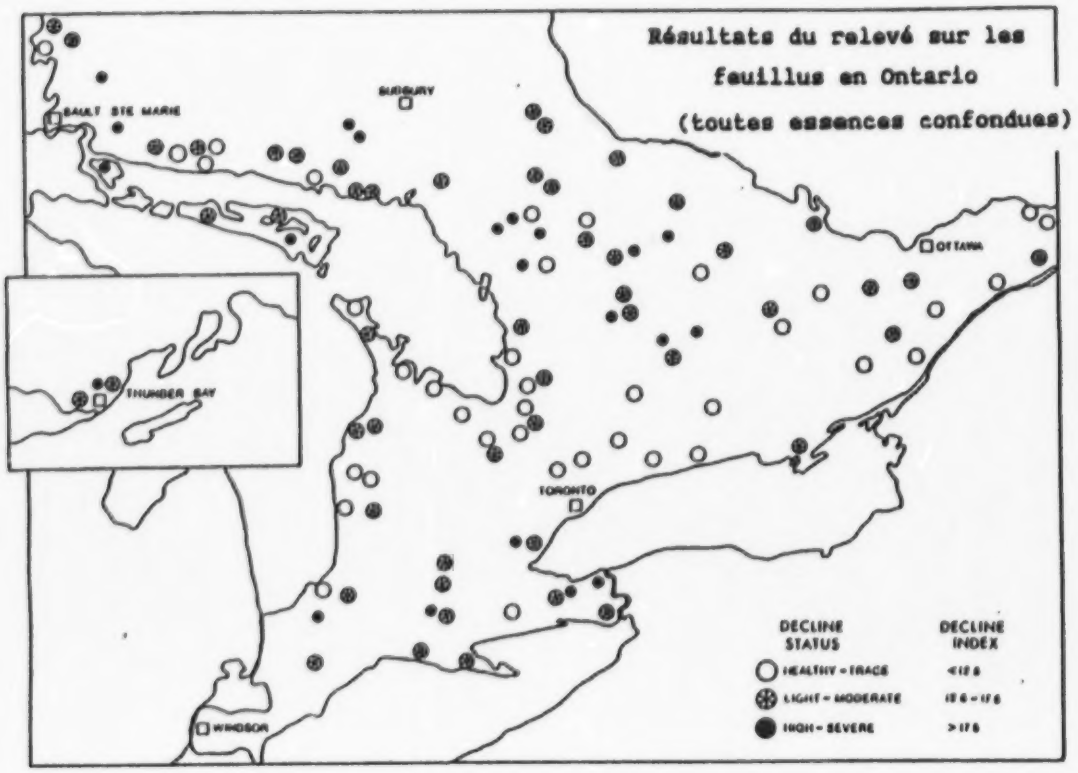
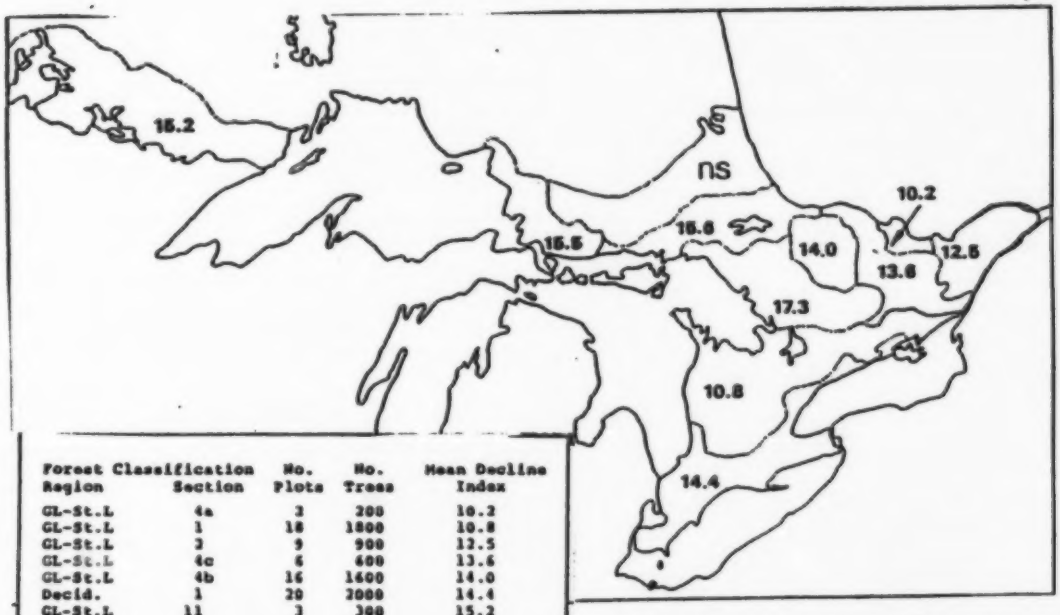



**Figure 1 : Résultats du relevé sur le déclin des feuillus en Ontario effectué en 1986 (110 sites échantillonnés, 11 000 arbres).**

| Région forestière | Section de classification | Nbre de sites échantillonnés | Nombre d'arbres échantillonnés | Indice de déclin moyen |
|---|---|---|---|---|
| GL-St.L | 4a | 2 | 200 | 10,2 |
| GL-St.L | 1 | 18 | 1 800 | 10,8 |
| GL-St.L | 2 | 9 | 900 | 12,5 |
| GL-St.L | 4c | 6 | 600 | 13,6 |
| GL-St.L | 4b | 16 | 1 600 | 14,0 |
| Feuillus | 1 | 20 | 2 000 | 14,4 |
| GL-St.L | 11 | 3 | 300 | 15,2 |
| GL-St.L | 10 | 11 | 1 100 | 15,5 |
| GL-St.L | 4e | 13 | 1 300 | 15,6 |
| GL-St.L | 4d | 12 | 1 200 | 17,3 |
| | | | 11 000 | 13,9 |




| Forest Region | Classification Section | No. Plots | No. Trees | Mean Decline Index |
|---|---|---|---|---|
| GL-St.L | 4a | 2 | 200 | 10.2 |
| GL-St.L | 1 | 18 | 1800 | 10.8 |
| GL-St.L | 2 | 9 | 900 | 12.5 |
| GL-St.L | 4c | 6 | 600 | 13.6 |
| GL-St.L | 4b | 16 | 1600 | 14.0 |
| Decid. | 1 | 20 | 2000 | 14.4 |
| GL-St.L | 11 | 3 | 300 | 15.2 |
| GL-St.L | 10 | 11 | 1100 | 15.5 |
| GL-St.L | 4e | 13 | 1300 | 15.6 |
| GL-St.L | 4d | 12 | 1200 | 17.3 |
| | | | 11000 | 13.9 |

Classification des forêts d'après Rowe (1972).
La région ns n'est pas incluse dans l'étude.

Figure 2 : Indice de déclin régional, fondé sur le relevé sur le déclin des feuillus en Ontario.
Les régions correspondent au découpage des sections forestières tel qu'établi par Rowe en 1972.

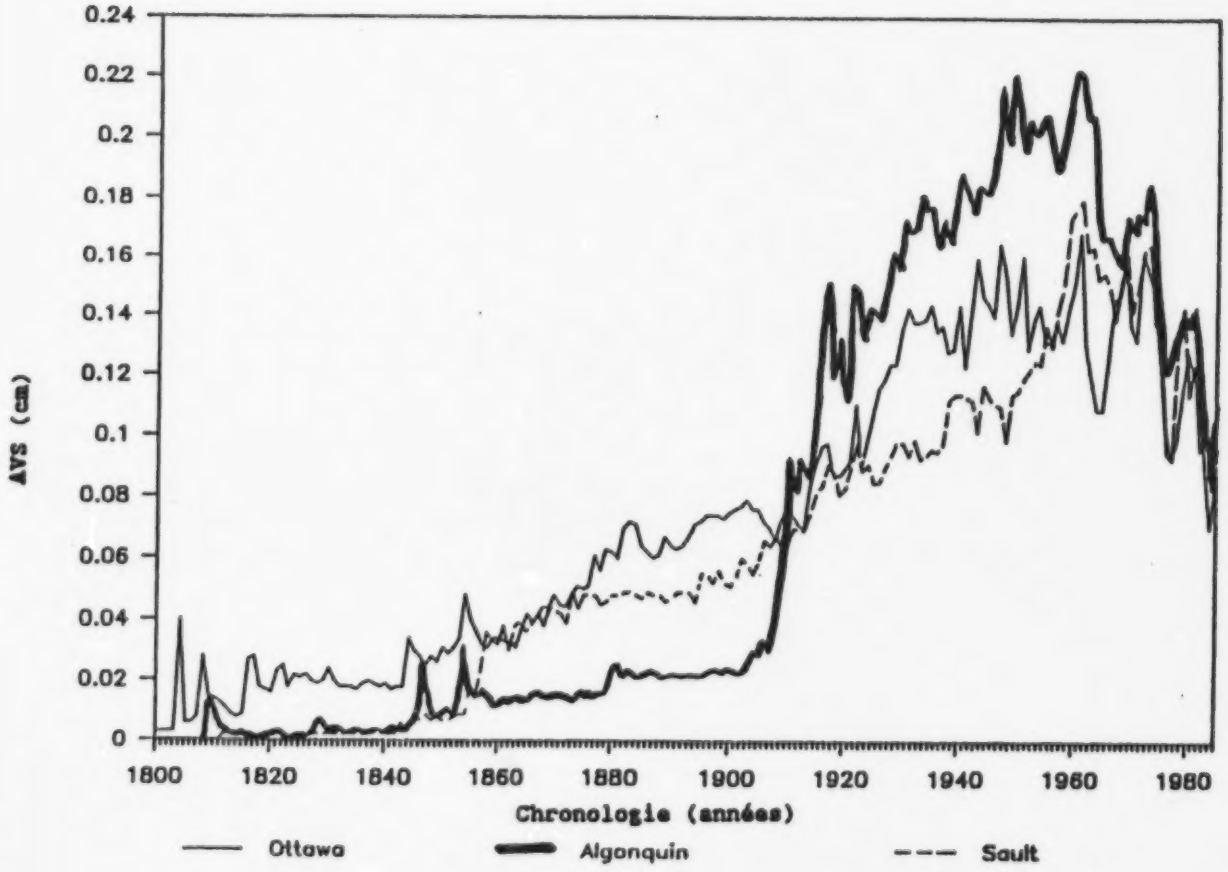



**Figure 3 :** Courbe d'augmentation moyenne du volume des érables à sucre échantillonnés dans trois régions de l'Ontario.

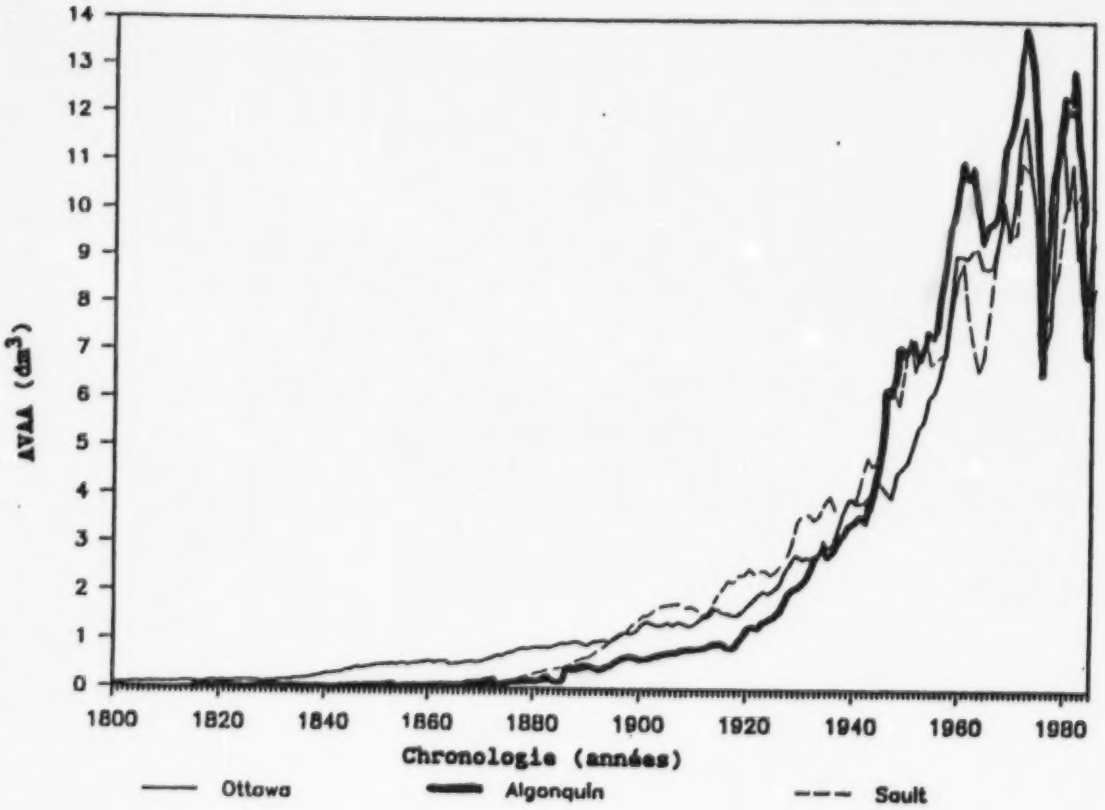



**Figure 4 :** Courbe de l'augmentation actuelle du volume annuel moyen pour les érables à sucre de trois régions de l'Ontario.

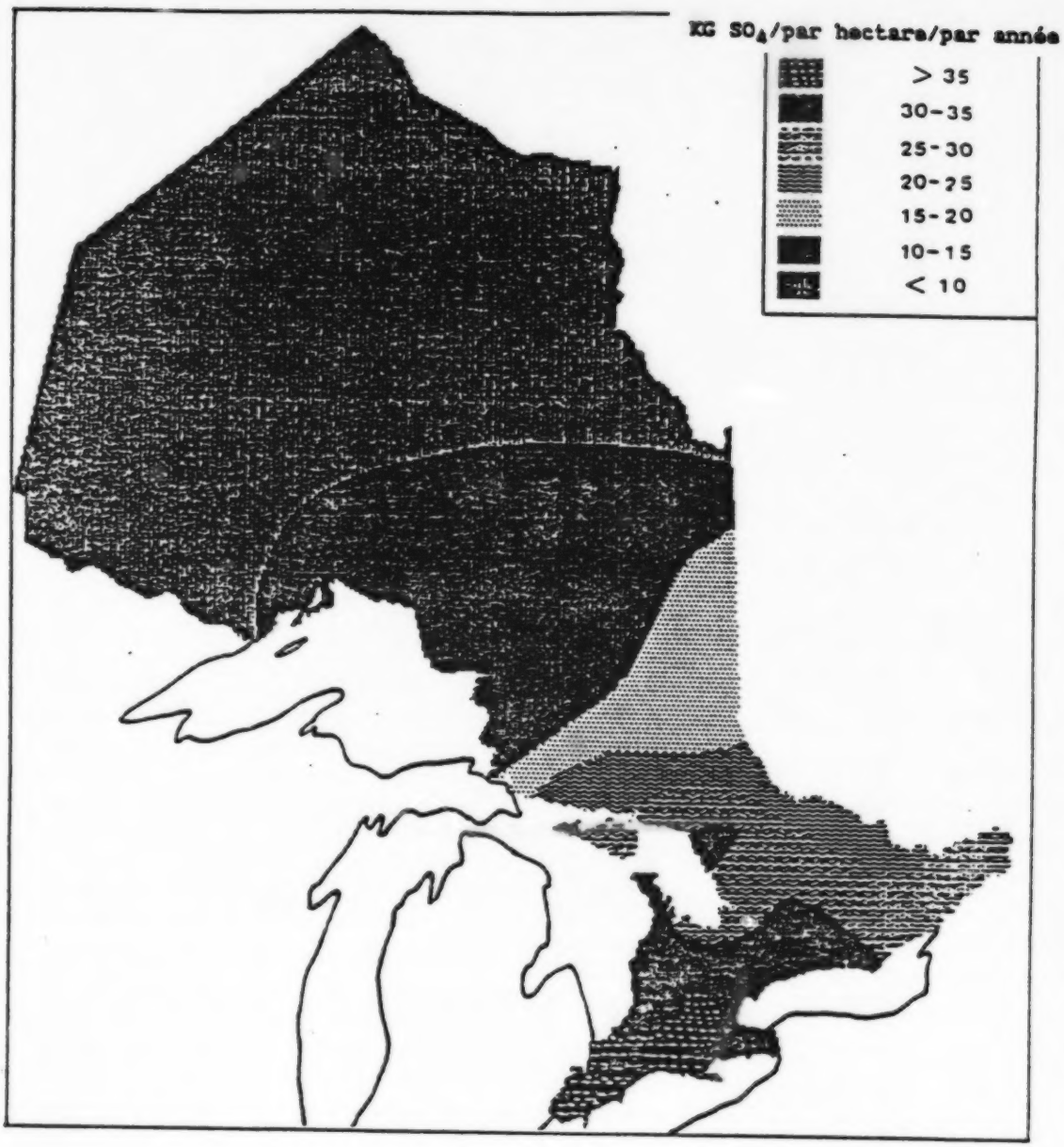



Figure 5 : Dépôts de sulfate humide en Ontario (moyenne de 1981 à 1984).

Concentration moyenne saisonnière d'ozone pendant 7 heures d'ensoleillement

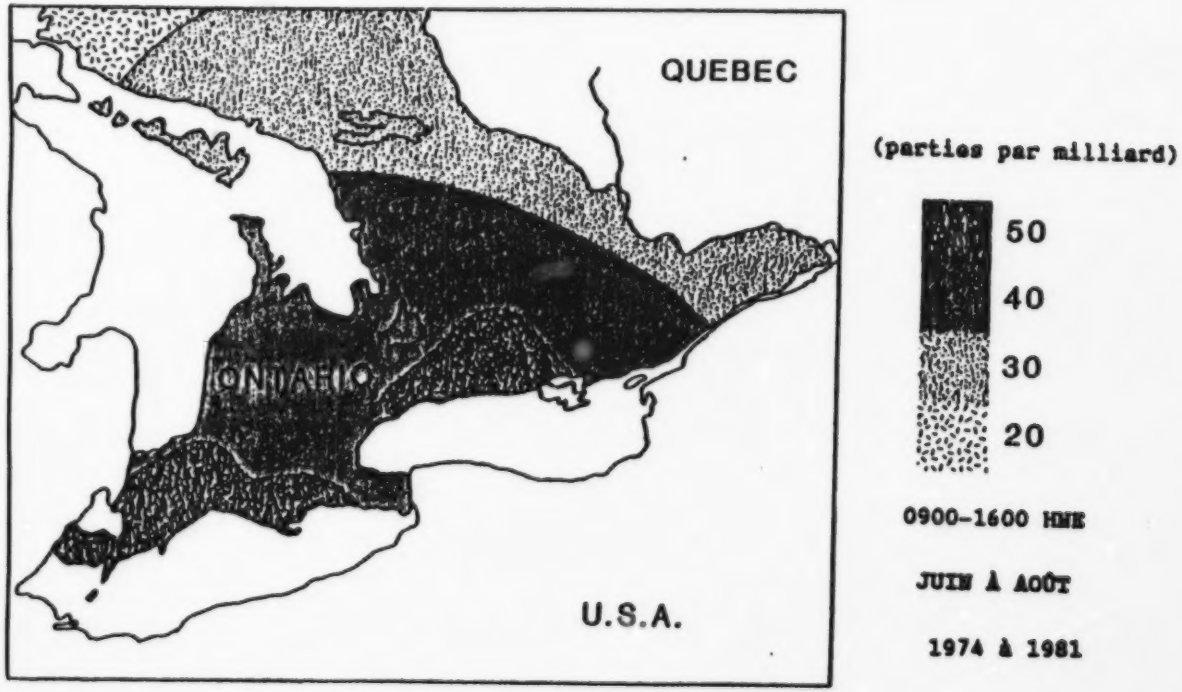
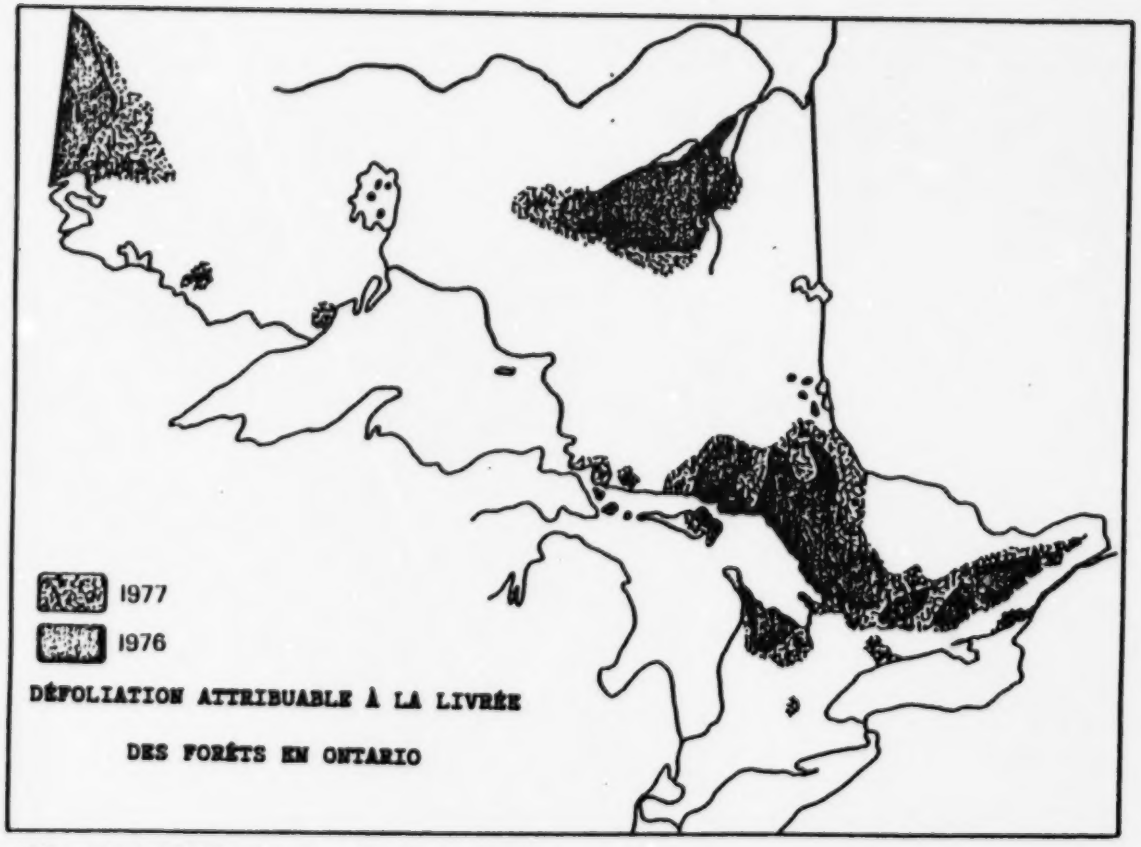



Figure 6 : Augmentation des concentrations d'ozone saisonnières pendant les périodes d'ensoleillement en Ontario (moyenne de 1974 à 1981).




MNR, YOUR FORESTS, VOL. 10 N° 1, 1977

Figure 7 : Étendue des défoliations attribuables à la livrée des forêts en Ontario en 1976 et 1977.

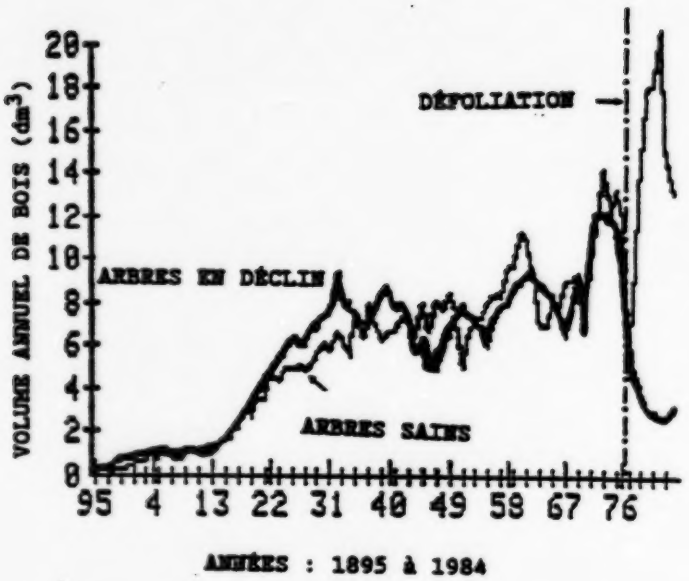



**Figure 8 :** L'augmentation annuelle de volume de deux érables à sucre échantillonnés lors d'une étude menée près de Dorset en Ontario. Les arbres étaient du même âge (à cinq années près), étaient codominants dans leur peuplement, et poussaient sur le même type de sol et sur le même site. En se fondant sur les observations effectuées en 1984, un de ces arbres était sain et l'autre était dans un état modérément avancé de déclin.

# LE DÉPÉRISSEMENT DES ÉRABLES À SUCRE AU NOUVEAU-BRUNSWICK
## Rapport de la situation - Printemps 1987

- B. A. Pendrel 1, D. O'Brien 2, W. Hamilton 2 et J. Tims 3

Le dépérissement des forêts n'est pas un fait nouveau au Nouveau-Brunswick ni dans l'est de l'Amérique du Nord. Parmi les espèces touchées, notons le bouleau, spécialement le merisier, dont le dépérissement a été constaté au cours des années 1930 à 1950, l'érable à sucre dont le dépérissement a été observé au cours des années 1930, 1940, 1960 et 1970, et, enfin, les autres essences telles que le frêne noir et le chêne.

Le dépérissement de la plupart des essences d'arbres est encore mal compris, puisqu'il est rare qu'un seul facteur en soit la cause. En effet, le dépérissement d'une essence est souvent causé par un ensemble de facteurs, lesquels agissent à divers degrés pendant un certain temps. Cette situation modifie l'état des arbres et le dépérissement inévitable de l'essence s'ensuit.

L'état actuel de l'érable au Nouveau-Brunswick fait l'objet d'une étude depuis deux ans, étude effectuée par le biais d'enquêtes auprès des propriétaires d'érablières et d'évaluations des peuplements faites par le personnel du Service canadien des forêts, du ministère des Ressources naturelles et de l'Énergie et du ministère des Affaires municipales et de l'Environnement du Nouveau-Brunswick.

---

1. Service canadien des forêts - Maritimes
2. Ministère des Ressources naturelles et de l'Énergie du Nouveau-Brunswick
3. Ministère des Affaires municipales et de l'Environnement du Nouveau-Brunswick

Dans certaines parties du Nouveau-Brunswick, on a constaté que les arbres se trouvaient dans un état de détérioration mais, dans d'autres régions, leur état est excellent (figure 1). Parmi les facteurs possibles qui auraient causé l'état observé, celui qui s'explique le mieux est l'infestation par la livrée des forêts, survenue de 1979 jusqu'à environ 1984, dans les régions où le dépérissement a été constaté. Nous savons que la livrée des forêts est la cause d'une partie du dépérissement de nos érables à sucre, mais nous ignorons dans quelle mesure. D'autres insectes, tels que l'arpenteuse de Bruce et l'arpenteuse d'automne, se sont révélés d'importants défoliateurs de l'érable au Nouveau-Brunswick, au cours de la dernière décennie. Toutefois, le rôle joué par ces insectes dans le dépérissement des forêts est encore moins connu.

Les études effectuées sur le dépérissement de l'érable en Ontario et au Québec laissent supposer que des polluants atmosphériques, en particulier les pluies acides et l'ozone, sont au nombre des causes du dépérissement de l'érable à sucre. En outre, l'observation de la composition chimique des précipitations enregistrées au Nouveau-Brunswick démontre que les dépôts de sulfate dans les régions rurales se situent entre 11 et 27,4 kg/ha/année. Ainsi, les forêts du Nouveau-Brunswick sont en général exposées à des niveaux beaucoup moins élevés de dépôts de sulfate que les régions du Québec les plus gravement atteintes par le dépérissement, où l'on a enregistré 40 kg/ha/année. Précisons cependant que les dépôts de sulfate enregistrés à proximité des sources locales de polluants

atmosphériques au Nouveau-Brunswick peuvent atteindre ce niveau. Selon les données d'observation, les forêts du Nouveau-Brunswick sont exposées à l'ozone à des degrés de concentration reconnus comme étant phytotoxiques pour les essences fragiles. Le groupe chargé de l'étude poursuivra ses recherches en 1987 afin de décrire l'étendue et le taux de dépérissement de l'érable à sucre dans la province, de rechercher les causes possibles et, enfin, d'examiner les conséquences des mesures visant à atténuer le problème.

Un inventaire aérien effectué sur une partie de la province aidera à définir la nature de la situation au Nouveau-Brunswick, et une étude plus approfondie du rôle des insectes et des maladies est également prévue. Les effets de l'ozone et des dépôts acides seront évalués à la fois pour les peuplements d'érables en santé et pour ceux en dépérissement. Pour ce faire, les quantités de concentration de polluants seront comparées à l'étendue du dépérissement de l'érable sur un nombre maximum de huit terrains, désignés en permanence dans ce but. Ces emplacements seront établis dans des peuplements où la densité des couronnes d'arbre varie, afin de vérifier si les degrés d'intervention en ce qui a trait aux éclaircies jouent un rôle important dans l'avancement du dépérissement. Des prélèvements d'échantillons de feuillage seront effectués et les résultats seront utilisés dans des expériences de faible envergure afin de déterminer si la fécondation de peuplements d'érables à sucre, dans des circonstances données, diminuerait les effets du dépérissement de cette essence.

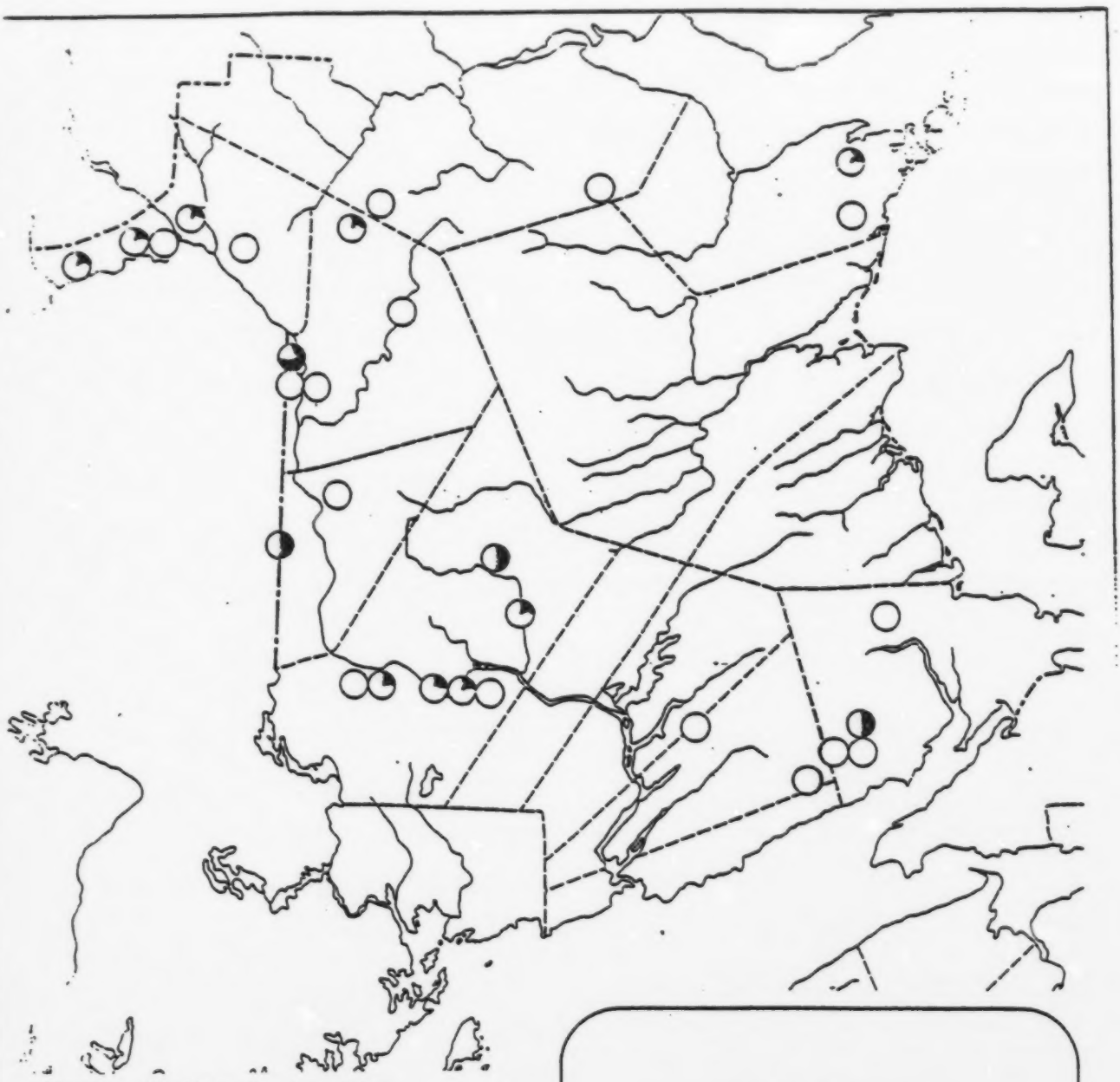



Figure 1 Résultats d'un inventaire effectué en 1986 dans les peuplements d'érables à sucre du Nouveau-Brunswick.

L'indice du dépérissement a été adapté à partir de la formule utilisée par le ministère de l'Environnement de l'Ontario, et englobe des variables telles que les branches mortes, les feuilles trop petites, le degré important ou négligeable de chlorose.

Les valeurs utilisées représentent la moyenne des indices pour tous les arbres relevés à chaque emplacement.

L'indice maximum possible équivaut à 162,5. L'indice d'un arbre dont la moitié de la couronne est morte dépasserait 50.